

INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

ANDERSON GOMES DE JESUS

**RADIOESTERILIZAÇÃO DE DOCUMENTOS HISTÓRICOS: UM ESTUDO DA
CONTRIBUIÇÃO NA DEGRADAÇÃO DE PAPEL E TINTAS DE IMPRESSÃO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Nucleares do Instituto de Engenharia Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear como parte dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia Nucleares.

Orientador: Prof. Dr. Luis Eduardo Barreira Brandão

Orientador: Prof. Dr. Cesar Marques Salgado

Rio de Janeiro

2017

JESU Jesus, Anderson

Radioesterilização de documentos históricos: um estudo da contribuição na degradação de papel e tintas de impressão / Anderson Gomes de Jesus. – Rio de Janeiro: CNEN/IEN, 2017.

xv, 103 f. : 61 il. ; 31 cm.

Orientador: Luis Eduardo Barreira Brandão, César Marques Salgado

Dissertação (mestrado) – Instituto de Engenharia Nuclear, PPGIEN, 2017

1. Radiação gama. 2. Esterilização. 3. Papel. 4. Tintas

**RADIOESTERILIZAÇÃO DE DOCUMENTOS HISTÓRICOS: UM ESTUDO DA
CONTRIBUIÇÃO NA DEGRADAÇÃO DO PAPEL E TINTAS DE IMPRESSÃO.**

ANDERSON GOMES DE JESUS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA NUCLEARES DO INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA NUCLEARES.

Aprovada por:

Prof. Luis Eduardo Barreira Brandão, D.Sc.

Prof. Cesar Marques Salgado, D.Sc.

Prof. Celso Marcello Franklin Lapa, D.Sc

Dr. Hélio de Carvalho Vital, Ph.D.

RIO DE JANEIRO-RJ, BRASIL

SETEMBRO DE 2017

Dedico a meus filhos Thomaz e Sophia.

Oxalá sejam melhores do que eu!

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todos os membros da equipe do Instituto de Engenharia Nuclear da Comissão Nacional de Engenharia Nuclear pelo carinho e pelo apoio, inclusive financeiro quando da realização de experimentos.

A meus orientadores, o Dr. Luis Eduardo Barreira Brandão e Dr. Cesar Marques Salgado, pela orientação objetiva e pela compreensão nos momentos em que passei por dificuldades.

Ao Comando da Academia Militar das Agulhas Negras e em particular ao Coronel Afonso Henrique Castilho e ao Coronel Claudio Magni Rodrigues, sem o apoio dos quais nada disso seria possível.

Ao Dr. Hélio de Carvalho Vital do Instituto de Defesa Química Biológica Radiológica e Nuclear e ao Dr. Edgar de Jesus do Laboratório de Instrumentação Nuclear da COPPE/UFRJ pelo apoio na realização de atividades práticas imprescindíveis para a construção desse trabalho.

A meus amigos Diego Chiappetta Mendes e Ricardo Alves Luz pelo apoio e orientação.

Por último quero agradecer a meus inimigos por terem me auxiliado a crescer, e por me mostrarem a cada perseguição e a cada traição o valor da fé e da meditação.

“Fui alimentado com as letras desde minha infância, e, por me terem persuadido de que por meio delas podia-se adquirir um conhecimento claro e seguro de tudo o que é útil à vida, tinha um imenso desejo de aprendê-las. Mas, assim que terminei todo esse ciclo de estudos, no termo do qual se costuma ser acolhido nas fileiras dos doutos, mudei inteiramente de opinião. Pois encontrava-me enredado em tantas dúvidas e erros, que me parecia não ter tirado outro proveito, ao procurar instruir-me, senão o de ter descoberto cada vez mais minha ignorância (...)”.

Rene Descartes – Discurso do Método

RESUMO

A exposição controlada à radiação gama é um processo físico que pode ser utilizado na preservação e recuperação de documentos históricos. Dependendo das características intrínsecas do material a ser tratado, é necessário pesquisar e estabelecer, de tempos em tempos, a taxa de dose e a dose total mais adequada, as condições para eliminar ou reduzir o risco biológico, o equipamento e sua logística, os aspectos econômicos e outros impactos causados pela radiação no material a ser tratado. As referências indicam que por meio da pesquisa é possível consolidar o conhecimento a respeito da radiação gama emitida por fontes de ^{137}Cs ou ^{60}Co de maneira a remover completamente ou reduzir drasticamente infestações por insetos e biodeterioração por microrganismos. Nesse trabalho foram utilizados dois irradiadores: um irradiador de pesquisa tipo cavidade com fonte de ^{137}Cs pertencente ao Instituto de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear do Exército Brasileiro; e um irradiador de pesquisa marca MDS Nordion, com fonte de ^{60}Co pertencente ao Laboratório de Instrumentação Nuclear da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O código MCNPX foi usado para calcular a distribuição de dose em ambos os irradiadores. Tanto as amostras de papel irradiadas, quanto às não irradiadas foram submetidas a envelhecimento térmico seco e exposição à radiação ultravioleta, possibilitando a comparação entre diferentes tipos de envelhecimento. Os resultados dos testes de resistência mecânica e de medição de cor indicam que, com a dose total adequada, o tratamento por exposição à radiação gama não altera as propriedades físicas ou mecânicas do papel e tintas de impressão de maneira significativa. Dessa maneira, é possível concluir que apesar da complexidade do procedimento de irradiação de documentos históricos, que demanda um estudo detalhado com vistas a assegurar sua aplicação segura, esta é economicamente interessante quando o equipamento se encontra disponível sendo ambientalmente mais segura do que o uso de pesticidas químicos.

Palavras chave: radiação gama, esterilização, papel, tintas.

ABSTRACT

The controlled exposition to gamma radiation is a physical process which can be used for the preservation and recovery of historical documents. Depending on the intrinsic characteristics of the material to be treated, it is necessary to research and establish, from time to time, the optimum dose rate and total dose, the conditions to eliminate or reduce the biological threat, the equipment and its logistics, the economic aspects and any other impact caused by radiation on the material to be treated. The references indicate that through research it is possible to consolidate the knowledge about gamma radiation emitted from ^{137}Cs and ^{60}Co in order to completely remove or at least greatly reduce infestation by insects or biodeterioration microorganisms. At this work we have used two irradiators: a cavity-type ^{137}Cs research irradiation facility at Brazilian Army Institute of Chemical Biological Radiological and Nuclear Defense (IDQBRN/EB); and a MDS Nordion, self-contained ^{60}Co research irradiator at Postgraduate Institute of Engineering and Research Alberto Luiz Coimbra, in Rio de Janeiro Federal University (COPPE/UFRJ). The MCNPX code was used to calculate the dose distribution on both irradiators. Both irradiated and non irradiated paper samples were submitted to controlled thermal dry aging and UV exposure, making it possible to compare different types of aging. The results of the mechanical resistance tests and the chromatic measures indicate that, with the optimum dose, the gamma radiation treatment does not significantly alter the mechanical or physical properties of paper or printing inks. This way, it is possible to conclude that even though the gamma irradiation of historical documents is a complex procedure which demands a detailed study in order to assure its safe application, it is of economic interest as long as the equipment is available and it is environmentally safer than the use of chemical pesticides.

Keywords: gamma radiation, sterilization, paper, ink

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Ilustração de célula vegetal e animal típicas	32
Figura 2.2: Lesão no núcleo e no citoplasma induzida por radicais livres e espécies ativas de O ₂	32
Figura 2.3: Tipos de lesões induzidas no DNA por radiação ionizante	33
Figura 3.1: Proporcionalidade de tamanhos dos papéis da série A	37
Figura 3.2: Amostras em estufa com ventilação forçada sendo submetidas a envelhecimento acelerado por radiação UV	39
Figura 3.3: Figura 3.4: Irradiador multipropósito MDS Nordion Gamacell Excel 220 instalado no Laboratório de Instrumentação Nuclear, COPPE / UFRJ	40
Figura 3.4: Corte frontal do irradiador Nordion Gamacell Excel 220 e vista superior de suas fontes	40
Figura 3.5: Vista frontal do irradiador gama do IDQBNR com as portas abertas	42
Figura 3.6: Seção horizontal do irradiador do CTEx com a fonte.....	42
Figura 3.7: Seção vertical do irradiador do CTEx com a fonte.....	43
Figura 3.8: Exemplo de composição colorida da imagem da amostra na cor magenta (irradiada a 10 KGy no irradiador 1) com o respectivo histograma. A ordenada varia de 0 a 255, e mostra a intensidade do contraste em cada banda. A abcissa mostra a quantidade de pixels em cada imagem.....	45
Figura 3.9: Função Densidade de Probabilidade para t de Student, indicando o nível de confiança α e o valor p bicaudal para determinado t.....	46
Figura 3.10: Exemplo de composição colorida de todos os espectros obtidos a partir das amostras na cor magenta (irradiadas no irradiador 1) com o respectivo gráfico onde a ordenada mostra a intensidade de contraste relativo, e a abcissa mostra a dose total a que a amostra foi submetida.....	47
Figura 4.1: Resultados de resistência ao rasgo das amostras irradiadas no irradiador 1 na direção das fibras.....	52
Figura 4.2: Resultado de resistência ao rasgo das amostras irradiadas no irradiador 1 transversalmente à direção das fibras.....	53
Figura 4.3: Resultados de resistência ao rasgo das amostras irradiadas no irradiador 2 na direção das fibras.....	54

Figura 4.4: Resultado de resistência ao rasgo das amostras irradiadas no irradiador 2 transversalmente à direção das fibras.	54
Figura 4.5: Resultado de resistência às dobras duplas das amostras irradiadas no irradiador 1 na direção das fibras.	57
Figura 4.6: Resultado de resistência às dobras duplas das amostras irradiadas no irradiador 1 transversalmente a direção das fibras.	58
Figura 4.7: Resultado de resistência às dobras duplas das amostras irradiadas no irradiador 2 na direção das fibras.	59
Figura 4.8: Resultado de resistência às dobras duplas das amostras irradiadas no irradiador 2 transversalmente a direção das fibras.	59
Figura 4.9: Gráfico obtido para a cor amarela (sem ETS)	62
Figura 4.10: Gráfico obtido para a cor branca (sem ETS)	63
Figura 4.11: Gráfico obtido para a cor ciano (sem ETS)	63
Figura 4.12: Gráfico obtido para a cor magenta (sem ETS)	64
Figura 4.13: Gráfico obtido para a cor preta (sem ETS)	64
Figura 4.14: Gráfico obtido para a cor amarela (com ETS)	65
Figura 4.15: Gráfico obtido para a cor branca (com ETS)	66
Figura 4.16: Gráfico obtido para a cor ciano (com ETS)	66
Figura 4.17: Gráfico obtido para a cor magenta (com ETS)	67
Figura 4.18: Gráfico obtido para a cor preta (com ETS).....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Principais fungos anamórficos encontrados em livros e documentos	23
Tabela 2.2: Insetos frequentemente encontrados em papel	25
Tabela 3.1: Tamanhos de papel da série A em milímetros.....	37
Tabela 3.2: Tempos de exposição de cada uma das amostras no Irradiador 1	41
Tabela 3.3: Tempos de exposição de cada uma das amostras no Irradiador 2	43
Tabela 4.1: Equações lineares dos gráficos de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 1 na direção das fibras	53
Tabela 4.2: Equações lineares dos gráficos de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 1 transversalmente a direção das fibras	53
Tabela 4.3: Equações lineares dos gráficos de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 2 na direção das fibras	54
Tabela 4.4: Equações lineares dos gráficos de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 2 transversalmente a direção das fibras	55
Tabela 4.5: Comparação entre os resultados percentuais de resistência ao rasgo das amostras que não foram submetidas à irradiação. Onde: I - amostra sem qualquer tipo de tratamento; II – amostra submetida à radiação UV; IV - amostra submetida a ETS.	55
Tabela 4.6: Amostras de papel submetidas à irradiação no Irradiador 1. Controle I. Tratamento III – irradiação gama. Tratamento IV – ETS. Tratamento V – irradiação seguida de ETS.	56
Tabela 4.7: Amostras de papel submetidas à irradiação no Irradiador 2. Controle I. Tratamento III – irradiação gama. Tratamento IV – ETS. Tratamento V – irradiação seguida de ETS.	56
Tabela 4.8: Equações lineares dos gráficos de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 1 na direção das fibras	57
Tabela 4.9: Equações lineares dos gráficos de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 1 transversalmente a direção das fibras	58
Tabela 4.10: Equações lineares dos gráficos de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 1 na direção das fibras	59
Tabela 4.11: Equações lineares dos gráficos de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 1 transversalmente a direção das fibras	60

Tabela 4.12: Comparação entre os resultados percentuais de resistência ao rasgo das amostras que não foram submetidas à irradiação. Onde: I - amostra sem qualquer tipo de tratamento; II – amostra submetida à radiação UV; IV - amostra submetida a ETS.	60
Tabela 4.13: Amostras de papel submetidas à irradiação no Irradiador 1. Controle I. Tratamento III – irradiação gama. Tratamento IV – ETS. Tratamento V – irradiação seguida de ETS.	61
Tabela 4.14: Amostras de papel submetidas à irradiação no Irradiador 2. Controle I. Tratamento III – irradiação gama. Tratamento IV – ETS. Tratamento V – irradiação seguida de ETS.	61
Tabela 4.15: Equações lineares de cada banda da cor amarela (sem ETS)	62
Tabela 4.16: Equações lineares de cada banda da cor branca (sem ETS)	63
Tabela 4.17: Equações lineares de cada banda da cor ciano (sem ETS)	63
Tabela 4.18: Equações lineares de cada banda da cor magenta (sem ETS)	64
Tabela 4.19: Equações lineares de cada banda da cor preta (sem ETS)	65
Tabela 4.20: Equações lineares de cada banda da cor amarela (com ETS)	65
Tabela 4.21: Equações lineares de cada banda da cor branca (com ETS)	66
Tabela 4.22: Equações lineares de cada banda da cor ciano (com ETS)	66
Tabela 4.23: Equações lineares de cada banda da cor magenta (com ETS)	67
Tabela 4.24: Equações lineares de cada banda da cor preta (com ETS)	68
Tabela 4.25: Comparação entre os valores de intensidade de contraste relativo entre amostras não irradiadas.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	- Atividade
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFNOR	- <i>Association Française de Normalisation</i>
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
Ci	- Curie
cm	- Centímetro
COPPE	- Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
CTEx	- Centro Tecnológico do Exército
D	- Dose Absorvida
DDVP	- 2,2-diclorovinil-dimetilfosfato
DN	- Digital Number
DNA	- Ácido Desoxirribonucleico
EB	- Exército Brasileiro
ETS	- Envelhecimento Térmico Seco
g	- Grama
Gy	- Gray
h	- Hora
Hz	- Hertz
IDQBRN	- Instituto de Defesa Química Biológica Radiológica e Nuclear
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
J	- Joule
k _c	- <i>Kerma</i> de Colisão
KCi	- KiloCurie
Kg	- Quilograma
KGy	- Kilo Gray
LD50	- Dose Letal Mediana
m	- Metro
MCNPX	- <i>Monte Carlo N-Particle eXtended</i>
MeV	- Mega Eletron Volt
mm	- Milímetro

NIST	- <i>National Institute of Standards and Technology</i>
nm	- Nanômetro
OPP	- o-fenilfenol
PDF	- Função Densidade de Probabilidade
pH	- Potencial Hidrogeniônico
RGB	- <i>Red, Green, Blue</i>
RNA	- Ácido Ribonucleico
s	- Segundo
TAPPI	- <i>Technical Association of the Pulp and Paper Industry</i>
TBTO	- Óxido de Tributilestanho
UFRJ	- Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNI	- <i>Ente Nazionale Italiano di Unificazione</i>
UV	- Ultravioleta
°C	- Grau Centígrado
μ_{en}/ρ	- Coeficiente de Absorção de Energia em Massa
μm	- Micrometro

SUMÁRIO

Capítulo 1

INTRODUÇÃO	16
1.1 RELEVÂNCIA	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18

Capítulo 2

TEORIA	21
2.1 BIODEGRADAÇÃO DE BENS CULTURAIS	21
2.2 PAPEL	22
2.3 MÉTODOS DE INTERVENÇÃO	25
2.3.1 Métodos Físicos	26
2.3.1.1 Radiação Ultravioleta	26
2.3.1.2 Radiação Gama	26
2.3.1.3 Outros Métodos Físicos de Intervenção	27
2.3.2 Métodos Mecânicos	28
2.3.3 Métodos Biológicos	29
2.3.4 Métodos Químicos	29
2.3.5 Métodos Bioquímicos	30
2.3.6 Métodos Indiretos	31
2.4 EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES	31
2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA	33
2.5.1 Resistência ao Rasgo	34
2.5.2 Resistência às Dobras Duplas	34
2.6 MEDIDAS DE ALTERAÇÃO CROMÁTICA	34
2.7 CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DA TAXA DE DOSE POR MCNPX	36

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 AMOSTRAS DE PAPEL	37
3.2 IRRADIAÇÃO UV	38
3.3 IRRADIAÇÃO GAMA	39

3.3.1	Irradiador 1 - UFRJ / COPPE	39
3.3.2	Irradiador 2 - EB / IDQBRN	41
3.4	ENVELHECIMENTO TÉRMICO SECO	43
3.5	TESTES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA	44
3.5.1	Resistência ao rasgo	44
3.5.2	Resistência às dobras duplas	44
3.6	MEDIDAS DE ALTERAÇÃO CROMÁTICA	44
3.7	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	45
3.8	CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DA TAXA DE DOSE POR MCNPX	47
3.8.1	Irradiador 1 - UFRJ / COPPE	48
3.8.2	Irradiador 2 - EB / IDQBRN	50
Capítulo 4		
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	TESTES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA	52
4.1.1	Resistência ao rasgo	52
4.1.2	Resistência às dobras duplas	57
4.2	MEDIDAS DE ALTERAÇÃO CROMÁTICA	62
4.3	CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DA TAXA DE DOSE POR MCNP-X	69
4.3.1	Modelagem Simplificada do Irradiador 1 - UFRJ / COPPE	69
4.3.2	Modelagem Simplificada do Irradiador 2 - EB / IDQBRN	70
Capítulo 5		
	CONCLUSÃO	72
Capítulo 6		
	REFERÊNCIAS	74
Anexo 1 - Relatório de ensaio IPT N° 1 084 928 – 203 de 14 de outubro de 2016		77
Anexo 2 - Resultados do ensaio de resistência ao rasgo - ABNT NBR NM-ISO 1974		81
Anexo 3 - Resultados do ensaio resistência a dobras duplas - ABNT NBR 5336		82
Anexo 4 - Espectros RGB para cada cor		83

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA

As memórias sobre o passado são elementos importantes da criação de uma identidade nacional. Essa identidade pode-se dizer, é uma condição social, cultural e espacial, na qual uma comunidade tem consciência de unidade e ao mesmo tempo reconhece as diferenças em relação aos outros. No Brasil independente de 1822 o povo brasileiro reconhecia inafastável a herança lusitana, contudo era necessária a negação de Portugal, colocando-se como Nação independente. Desde então, diversos movimentos artísticos e culturais foram moldando a identidade cultural brasileira e, a partir deles, foram produzidos livros, obras de arte, músicas e diversas outras formas de expressão.

Essas obras são a materialização da identidade cultural brasileira, esquecida pela globalização e pela internacionalização da sociedade. Um sentimento de distanciamento, agravado pela crise moral e ética pela qual o povo brasileiro está passando, faz com que a dinâmica da cultura brasileira pareça decadente. Esse mesmo sentimento tende a acarretar o abandono das obras outrora tão importantes para a construção de nossa identidade.

Não se pode deixar que a identidade de uma sociedade simplesmente desapareça e, por isso, deve-se atentar para os danos provocados pelas condições precárias de armazenamento do nosso inestimável patrimônio histórico e cultural. Segundo Tiano (2002), o principal fator para aceleração da degradação são as condições ambientais inadequadas tais como: presença de infiltrações; ventilação deficiente; falta de manutenção e limpeza de sistemas de ar condicionado. A presença de colônias de fungos e outros microrganismos representam um grave problema para a área de conservação de bibliotecas, acervos literários e arquivos em geral, e esta é uma situação que se torna muito mais preocupante em países com clima tropical, como é o caso do Brasil. E essas situações são encontradas na maioria dos centros de documentação do país.

A contaminação por fungos apresenta ainda um agravante, as colônias destes microrganismos ao perceberem um agressor no seu ecossistema, entram na fase de esporos, os esporos de fungos são praticamente invisíveis e se proliferam com grande velocidade se as condições de temperatura e umidade das salas não forem adequadamente controladas. A contaminação é muito mais intensa em caso de acidentes tais como inundações devido às

chuvas, rompimento de tubulações de água e esgoto ou infiltrações que ocorrem nas paredes ou tetos das salas de consulta ou armazenagem do acervo.

Dependendo do nível de contaminação de um documento ou obra, sua manipulação, consulta ou exposição pública pode ser inviabilizada, pois a presença de insetos como cupins ou traças, se não removidos de forma adequada e eficiente, destroem os objetos de arte, podendo até mesmo comprometer todo o acervo cultural de uma instituição.

Materiais como papel, couro, tecido e adesivos são substratos excelentes para o crescimento de colônias de fungos, cujas enzimas promovem sua deterioração e descoloração provocando dessa maneira danos irreparáveis as obras.

Outro agravante da contaminação por fungos se relaciona com a própria manipulação do material, pois usuários e o pessoal técnico obrigado a ter contato direto com o material contaminado se veem expostos a um alto risco de contaminação podendo provocar alergias e o desenvolvimento de problemas respiratórios graves.

Vários procedimentos têm sido empregados na recuperação de materiais contaminados, mas nenhum de maneira satisfatória por serem dispendiosos, usarem de agentes altamente tóxicos [Tiano, 2002] e, principalmente por exigirem tempo considerável para que o objeto submetido à técnica volte a ser manuseado com segurança. Técnicas convencionais para a descontaminação de acervos bibliográficos fazem uso da fumigação com compostos químicos altamente tóxicos e requerem o uso de equipamentos especiais e de licenças ambientais para seu emprego. Atualmente dentre os mais empregados destacam-se o Timol (2-isopropil-5-metilfenol; $LD_{50} = 980 \text{ mg.Kg}^{-1}$ para testes com ratos) e o OPP (o-fenilfenol; $LD_{50} = 2480 \text{ mg.Kg}^{-1}$ para testes com ratos) que deixam resíduos e principalmente odor forte, que se torna desagradável ao usuário.

A esterilização empregando radiação gama apresenta-se com uma das técnicas mais efetivas e de baixo custo para exterminar microrganismos (fungos e insetos) em livros e objetos de arte em geral, com a vantagem de não deixar resíduo tóxico (químico ou radiológico) nos objetos tratados, permitindo que os mesmos possam ser manipulados com total segurança logo em seguida ao tratamento com radiação [Magaudha, 2004].

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa foi estudar o efeito da radiação gama no envelhecimento de papel e na degradação de cores impressas para o estabelecimento de metodologia segura para a desinfecção e tratamento de objetos de arte em geral contribuindo

para os grupos de pesquisa estabelecidos no país que se dedicam a restauração de acervos culturais desde que possam dispor de um radioesterilizador que permita o emprego da radiação gama para total eliminação de fungos, insetos e outros microrganismos que deterioram os objetos de arte.

Como objetivos secundários se destacam:

- Contribuir para que as instituições culturais, predominantemente públicas, tenham acesso a processo eficiente e barato para tratamento dos seus acervos.
- Apresentar à sociedade o uso pacífico de uma técnica radiológica que permite de maneira rápida a esterilização de livros, documentos, objetos de arte e que traz benefícios importantes aos usuários e trabalhadores que manipulam constantemente estes objetos.
- Estabelecer parcerias entre o Instituto de Engenharia Nuclear e o Instituto de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear para atuarem na área de conservação de acervos históricos e para o desenvolvimento de metodologias para emprego da técnica de radioesterilização de livros, quadros, acervos fotográficos, objetos em madeira, couro e fibras vegetais.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

BUTTERFIELD, F. J. (1987), estudou os efeitos da radiação gama em três amostras distintas de papel quais sejam: polpa pura; polpa misturada; e mistura mecânica de polpa de madeira. As amostras foram submetidas a três tipos de envelhecimento: irradiação gama a partir de uma fonte de ^{60}Co , dose total de 10 K Gy e taxa de dose de 156 Gy.h^{-1} ; envelhecimento térmico seco (ETS) a 105°C por 72 h conforme norma da *American Society for Testing and Materials* (ASTM D 776); e irradiação seguida de ETS nas mesmas condições que as anteriores. As amostras foram submetidas a testes de resistência a dobras duplas, conforme norma da *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* (TAPPI T511) e resistência ao rasgo. A autora conclui que todos os tratamentos causaram dano às amostras sendo a irradiação gama o menos danoso, seguido de ETS e sugerindo a ocorrência de um efeito sinérgico quando da irradiação combinada com ETS.

ADAMO, A. M. MAGAUDDA, G. G. ZAPPALA, M. P. ROCHETTI, F. ROSSI, G. (1998). Neste trabalho Adamo utiliza diferentes técnicas de tratamento para desinfecção dos materiais

e analisa sua efetividade na eliminação de insetos e microrganismos assim como a extensão do dano causado à amostra de papel. Para isso as amostras foram submetidas a: irradiação gama por meio de exposição à fonte de ^{60}Co com taxa de dose de $2,8 \text{ Gy.h}^{-1}$ e doses totais de 1, 2, 5 e 10 KGy; fumigação com óxido de etileno 12%, balanço em CO_2 , por 44h; congelamento a -25°C seguido de irradiação; e ETS a 80°C por 12 dias e por 24 dias conforme norma da *Ente Nazionale Italiano di Unificazione* (UNI 10256). As amostras foram submetidas a testes de resistência à tração conforme a norma UNI 6438, resistência ao rasgo conforme a norma UNI 6444, alvura, variação de cor, grau de polimerização viscosimétrico médio da celulose de acordo com norma da *Association Française de Normalisation* (AFNOR T 12-005) e pH de extração a frio em água deionizada conforme a norma TAPPI T-435m. Assim, concluiu-se que: a irradiação gama causa despolimerização da molécula sem consequências significativas para a resistência mecânica do material; o ETS e o tratamento por congelamento causam despolimerização severa que se reflete em redução da resistência mecânica; ocorre um efeito sinérgico quando da irradiação combinada com ETS.

TIANO, P. (2002), faz uma revisão de todos os mecanismos biológicos que podem afetar os diversos tipos de substratos dos quais o material artístico e cultural podem ser compostos. Em seguida, ele lista as diferentes técnicas de preservação existentes sem fazer juízo de valor entre elas.

MAGAUDDA, G. (2004), faz uma revisão de diversos testes de irradiação cujo objetivo era o de receber autorização para irradiação de livros e documentos deteriorados. Foram avaliados os resultados no tratamento contra: insetos - utilizando doses de 0,2 a 0,5 KGy; e fungos – utilizando doses de 3 a 8 KGy. E, por meio da análise dos resultados dos testes de resistência à tração, resistência ao rasgo, resistência a dobras duplas e alvura ISO (*International Organization for Standardization*) em amostras irradiadas, o autor concluiu que, apesar da pequena redução da resistência mecânica causada pela exposição à radiação gama, o método é válido desde que a dose total seja ajustada ao tipo de material que se quer tratar e a seu grau de deterioração.

MANUELA DA SILVA, A. MORAES, M. L. NISHIKAWA, M. M. GATTI, M. J. A. VALLIM DE ALENCAR, M. A. BRANDÃO, L. E. NOBREGA, (2006). Neste trabalho Manuela da Silva isola uma variedade de fungos comumente encontrados em bibliotecas e no ambiente tropical da cidade do Rio de Janeiro com o objetivo de verificar qual a dose mínima

necessária para inativa-los. Para isso os fungos cultivados foram expostos à radiação gama em um irradiador de pesquisa marca MDS Nordion, modelo Gamacell Excel 220, com fonte de ^{60}Co com taxa de dose de 4200 Gy.h^{-1} doses totais que variaram de 14,5 a 25,0 KGy. A dose mínima requerida para completa inativação dos fungos foi de 16,0 KGy e as amostras submetidas a esta dose resistiram a reinfestação mesmo quando expostas a condições favoráveis ao desenvolvimento dos microrganismos. A autora conclui que a radioesterilização é um processo extremamente eficiente, mostrando-se uma alternativa poderosa na desinfecção livros e documentos.

RUSIN, T. REBELLO, W. S. VITAL, H. C. VELLOZO, S. O. SILVA, A. X. GOMES, R. G. (2011). Neste trabalho Tiago Rusin procedeu a modelagem computacional por meio do programa MCNPX do irradiador de pesquisa, tipo cavidade com fonte de ^{137}Cs do Centro Tecnológico do Exército (CTEx). O objetivo foi calcular a distribuição de taxa de dose de maneira mais precisa com vistas a se obter uma estimativa de dose absorvida mais próxima da realidade.

Capítulo 2

TEORIA

2.1 BIODEGRADAÇÃO DE BENS CULTURAIS

Bens culturais podem ser feitos dos mais variados tipos de materiais produzidos pela natureza e utilizados pelo homem, desde compostos simples até estruturas complexas que integram materiais orgânicos e inorgânicos. Esses bens culturais podem ser feitos de materiais resistentes como pedras e metais, mas também podem ser atacados por fatores ambientais que tem o poder de modificar sua estrutura e composição. Além disso, ao serem inseridos na biosfera estão sujeitos à degradação por mecanismos biológicos. Os processos de biotransformação tem alcance global, mas alcançam sua condição ótima em climas quentes e úmidos onde as condições climáticas são mais favoráveis ao crescimento de microrganismos.

Um aspecto importante dessa transformação é o aspecto metabólico atrelado ao crescimento de microrganismos. Essa atividade é necessária para que seja mantido em equilíbrio o ciclo de transformação da matéria, e contribui para aspectos importantes da vida tal como a redução de estruturas biológicas complexas em componentes mais simples. De fato, muitos tipos de macro e microrganismos encontram *habitat* adequado para seu crescimento em obras de arte feitas de madeira, tecido, papel, entre outros. As espécies vivas capazes de crescer nesses materiais variam de bactérias microscópicas a plantas e animais. O processo de crescimento e desenvolvimento vegetativo de organismos tem consequência direta na conservação de bens culturais. Os tipos principais de dano derivado da atividade metabólica de organismos estão relacionados a mecanismos físicos, químicos e estéticos, enquanto que a intensidade do dano guarda correlação com: tipo e tamanho do organismo envolvido; tipo de material e estado de conservação; condições ambientais e grau de exposição [Magaudha, 2004].

Vários métodos têm sido utilizados para classificar e quantificar os macro e microrganismos envolvidos no processo de biodeterioração. Os parâmetros ecológicos e fisiológicos concernentes ao desenvolvimento de agentes biodeteriorantes têm sido investigados assim como os efeitos de seu crescimento no material que se deseja proteger. As intervenções que tem por objetivo a conservação utilizam métodos diretos e indiretos com o objetivo de interromper ou pelo menos frear os processos de biodeterioração. As metodologias e os produtos a serem utilizados devem ser escolhidos levando-se em

consideração as condições do substrato e as espécies a serem tratadas de maneira que não haja interferência negativa no material a ser protegido e que o impacto ambiental seja reduzido [Tiano, 2002].

2.2 PAPEL

O papel é feito principalmente de celulose, mas também de outras substâncias associadas ao seu processo de manufatura tais como: lignina, hemicelulose, pectinas, ceras, taninos, proteínas e minerais constituintes. De fato, o papel pode ser fabricado a partir de têxteis ou da madeira, por meio de uma sequência de operações complexas. A concentração dos componentes varia de acordo com o tipo de processo de fabricação, tipo de papel e período de produção. Na Idade Média, por exemplo, a qualidade do papel era particularmente boa tendo em vista que este era produzido a partir de pedaços de algodão selecionado, contendo grande quantidade de celulose e poucas impurezas. A partir da industrialização da produção do papel no final do século XVII, a qualidade do papel sofreu queda significativa. Isso se deve ao fato deste passar a ser produzido a partir de troncos ou polpa de madeira contendo uma grande quantidade de polímeros e materiais não fibrosos diferentes da celulose e elevado teor de impurezas. Assim, os papéis modernos são mais vulneráveis ao ataque de microrganismos do que os mais antigos [Tiano, 2002].

O papel é uma ótima fonte de alimento para microrganismos heterotróficos. A condição indispensável para um ataque microbiano é um teor de água significativo, e a higroscopicidade do papel o torna mais sensível à biodegradação.

Os principais microrganismos biodeteriorantes para o papel são: bactérias, micro fungos e actinomicetos. Sendo os fungos os mais comuns uma vez que demonstram maior tolerância às condições ambientais podendo viver em ambientes com menor concentração de água do que bactérias e actinomicetos.

Entre os microfungos, muitas espécies de Deuteromicetos e Ascomicetos são frequentemente isolados em livros, documentos e impressos. Algumas espécies como *Aspergillus* e *Penicillium* são particularmente perigosas por que são capazes de se desenvolver em substratos com percentuais de umidade de 7-8 %, o que pode ser alcançado em alguns tipos de papel mantidos em ambientes com umidade relativa entre 62-65 % [Tiano, 2002].

A capa é a primeira parte do livro a absorver a umidade do ar, consequentemente, o crescimento fúngico será mais pronunciado na capa do que nas folhas. Algumas espécies de

fungos causam uma profunda degradação de material celulósico, levando à perda de propriedades mecânicas.

Em geral, fungos causam alterações no papel produzindo vários tipos de manchas que resultam da presença de micélios pigmentados ou da liberação de metabólitos coloridos. A cor dos pigmentos pode variar de acordo com as condições de crescimento e das propriedades do papel (exemplos: pH, presença de metais, presença de amido, entre outros). Um tipo particular de alteração por fungos é a descoloração de tintas devido à tanase, uma enzima que catalisa a hidrólise do galactonato, produzido por algumas cepas de *Aspergillus* e *Penicillium*. Outra alteração encontrada em livros e impressos é a causada por *Cladosporium sp.* que se apresenta como manchas escuras, de cor marrom ou preta, com aspecto aveludado podendo formar ramificações [Tiano, 2002].

Na tabela 1 são apresentadas as principais famílias de insetos responsáveis pela deterioração de papel em obras de arte.

Tabela 2.1 – Principais fungos anamórficos encontrados em livros e documentos de ambientes tropicais.

Família	Espécie	Nome comum	Tipo de dano
<i>Moniliaceae</i>	<i>Penicillium spp.</i>	Fungo de armazenamento	Manchas de coloração cinza-esverdeado
	<i>Penicillium sp.</i>	Fungo dos bolores	Bolores verdes ou azuis
	<i>Aspergillus niger</i>	Mofo preto ou “podridão do <i>Aspergillus</i> ”	Colônias que variam entre marrom, cinza e preto.
<i>Dermatiaceae</i>	<i>Cladosporium sp.</i>		Colônias possuem coloração olivácea, acinzentadas ou marrom escuro. A superfície desse fungo pode ter aparência de pelos ou flocos.

[Manuela da Silva, 2006].

Bactérias atacam o papel menos frequentemente do que os fungos, mas muitas bactérias têm sido isoladas em papéis mantidos em ambientes com umidade relativa maior do que 85 %. As espécies celulolíticas são obviamente mais perigosas do que as não celulolíticas sendo o segundo grupo raramente encontrado.

Assim, durante o metabolismo, todos os microrganismos produzem diferentes ácidos orgânicos (oxálico, fumárico, succínico, cítrico, entre outros), os quais reduzem o pH do

papel, condicionando a dinâmica do crescimento bacteriano e fúngico em ataques secundários. Frequentemente, ataques bacterianos e fúngicos tornam o papel rígido e frágil.

Uma alteração cromática particular e muito comum é o “foxing”. Esta se parece com manchas cor de ferrugem de diferentes formatos. As causas do “foxing” ainda não foram completamente esclarecidas, muitos autores atribuem à presença de fungos, outros acreditam que a presença de metais pesados possa ser o fator que favorece esse tipo de alteração [Tiano, 2002].

Outro tipo de dano, chamada “consolidação”, pode afetar livros que sofreram com inundações ou foram excessivamente molhados. A alteração se dá pelo crescimento de fungos e bactérias e está relacionada à produção, durante a degradação da celulose, de oligossacarídeos com propriedades de muco e, em substratos particularmente ricos em açúcar, a formação de produtos metabólicos secundários de natureza viscosa. Resta claro que a composição do papel (conteúdo de fibras e tipo de cola) afeta a intensidade desse tipo de degradação [Tiano, 2002].

Os insetos por sua vez estão frequentemente envolvidos na deterioração do papel. Muitos insetos são capazes de atacar a celulose com processos semelhantes aos que utilizam para atacar a madeira. Outros causam dano ao atacar preenchimentos, colas, capas, fibras têxteis, couro ou outros elementos constituintes de livros e impressos. Baseado na frequência há insetos costumeiros e ocasionais. Os primeiros utilizam o material para sua alimentação, enquanto que os últimos danificam o papel ao se alimentarem de outros materiais presentes em sua composição, tal como o amido, ou de materiais em seu entorno, como couro ou madeira. A morfologia dos danos ocasionados por insetos varia de pequenas abrasões superficiais e erosão superficial até a ocorrência de buracos ou até mesmo tuneis.

Na tabela 2 são apresentadas as principais famílias de insetos responsáveis pela deterioração de papel em obras de arte.

Tabela 2.2 – Insetos frequentemente encontrados em papel

Ordem	Família	Nome comum	Tipo de dano
<i>Thysanura</i>	<i>Lepismatidae</i>	Traça de livros	Pequena erosão superficial irregular
<i>Isoptera</i>	<i>Kalotermitidae</i> <i>Rhinotermitidae</i> <i>Termitidae</i>	Cupim	Buracos profundos e erosão. Destruição do interior do objeto enquanto o exterior se mantém intacto.
<i>Coleoptera</i>	<i>Anobidae</i>	Besouro	Tuneis circulares
	<i>Lyctidae</i>		Tuneis com seção oval
	<i>Dermestidae</i> (<i>besouro bibliográfico</i>)		Tuneis curtos com seção circular e perfuração irregular
<i>Corrodentia</i>	<i>Liposcelidae</i>	Piolho de livro	Pequena erosão superficial
<i>Blattoidea</i>	<i>Blattidae</i> <i>Blattellidae</i>	Baratas	Erosão superficial

[Tiano, 2002].

Anobidae, *Lyctidae* e *Dermestidae* completam seu ciclo de vida dentro dos livros. Os besouros *Dermestidae* se alimentam principalmente de capas de couro, porem penetram nos livros fazendo tuneis onde iniciam o estágio de pupa. *Blattidae*, *Blattellidae*, *Lepismatidae* e *Termitidae* vivem nos ambientes onde os livros são mantidos, e papel, capas e colas de origem vegetal ou animal representam suas fontes de alimento. *Liposcelidae* são os menores insetos envolvidos na deterioração de livros (1-2 mm) e são muito comuns. Estes se alimentam de papel, cola, entre outros, e vivem principalmente nas capas. Estes insetos também se alimentam de micro fungos desenvolvidos em superfícies deterioradas, dessa maneira, eles costumam aparecer em condições de umidade muito elevada [Tiano, 2002].

2.3 MÉTODOS DE INTERVENÇÃO

Para controlar os processos de biodeterioração devem ser utilizados os materiais e métodos mais adequados para cada tipo de substrato. Considerando os princípios e a natureza dos meios empregados, os métodos de intervenção podem ser classificados em físicos, mecânicos, biológicos, químicos, bioquímicos ou indiretos.

2.3.1 Métodos Físicos

Segundo Tiano (2002) os métodos normalmente utilizados são: radiação ultravioleta (UV), radiação gama, corrente elétrica de alta frequência, calor e ultrassom.

2.3.1.1 Radiação ultravioleta

A radiação ultravioleta tem sido utilizada especialmente contra bactérias, algas e fungos. A parte do espectro UV com atividade germicida se encontra entre 300-200 nm com um máximo de atividade entre 275-230 nm [Tiano, 2002]. Os microrganismos variam em sensibilidade dependendo de sua fase de crescimento e da natureza do substrato em que estes se encontram. A radiação UV é mais efetiva em baixos teores de umidade (abaixo de 50-60%) [Tiano, 2002]. Possui um baixo poder de penetração e pode modificar alguns materiais (tais como, celulose ou proteínas) e as cores de suas superfícies [Tiano, 2002]. A energia dessa radiação acelera os processos de degradação, o que é facilmente verificável ao deixar um papel exposto à radiação solar. Após algumas horas, o papel já fica bem mais amarelado se comparado com uma mesma folha mantida ao abrigo da luz.

Esse amarelamento das amostras se dá por meio de um processo de foto-oxidação. Os raios ultravioletas atuam como catalisador do processo de degradação ao transportarem grande quantidade de energia para dentro da matéria orgânica desencadeando, assim, uma série de reações químicas que levam, não apenas à mudança de coloração desses materiais, mas também a deterioração destes. Essas reações são irreversíveis e cumulativas.

2.3.1.2 Radiação gama

A radiação gama (6×10^{-3} nm até 3×10^{-5} nm) é uma forma de energia eletromagnética com frequência muito alta (5×10^{19} Hz até 10^{22} Hz) [NASA, 2013] extensivamente utilizada para esterilizar a microflora e matar insetos, especialmente em materiais orgânicos como papel, pergaminho e madeira. A radiação afeta os átomos que compõem as moléculas resultando em sua excitação e/ou ionização. Neste estado excitado a molécula produz um efeito multiplicador causando a excitação e ionização das moléculas circunvizinhas. A esta altura dois eventos podem ocorrer: a molécula excitada pode se dissociar em radicais livres ou se ionizar. Os radicais livres podem promover alterações químicas se reagirem com outras moléculas ou outros radicais para formarem novas substâncias. Se, no entanto, os radicais

livres se recombinarem, não haverá alteração de ordem química. Contudo, radicais podem se recombinar para formar peróxido de hidrogênio, um agente oxidante que pode promover reações que, no caso do papel, resultam na formação de grupos carboxila na celulose por exemplo.

Uma dose de 500 Gy, cuja unidade representa a quantidade de energia de radiação ionizante absorvida por unidade de massa (J.Kg^{-1}), é suficiente para matar larvas e prevenir o nascimento de insetos adultos. Fungos são menos sensíveis à radiação ionizante do que insetos e diferentes cepas possuem diferentes níveis de sensibilidade, geralmente a maioria dos fungos é eliminada após uma dose total de 10 KGy sendo necessária uma dose de até 18 KGy para total eliminação das espécies fúngicas mais resistentes [Tiano, 2002].

Apesar de sua intensidade, a radiação gama não induz radioatividade secundária, não deixa resíduos perigosos e penetra completamente os objetos a serem tratados. Além dessas vantagens, uma grande quantidade de materiais pode ser tratada a um só tempo. O papel é muito mais sensível aos efeitos da radiação gama do que a madeira, por exemplo, e um possível efeito negativo é a despolimerização da celulose com redução do comprimento da cadeia polimérica o que leva a uma redução da resistência mecânica desses materiais [Butterfield, 1987].

Assim, o trabalho de pesquisa é fundamental para a consolidação do conhecimento em radiação ionizante gama, como forma de remover totalmente ou pelo menos reduzir significativamente as formas de degradação do papel conhecidas como biodeterioração causadas principalmente por insetos e fungos microscópicos [Magaudha, 2004].

Além disso, as propriedades básicas do papel não são significativamente alteradas em doses de até 10 KGy. Há, no entanto, divergências que podem ser explicadas quando se leva em consideração a taxa de dose tendo em vista que quanto maior for o tempo de irradiação, maior será a probabilidade de interação com o oxigênio atmosférico levando ao dano indireto [Magaudha, 2004].

2.3.1.3 Outros métodos físicos de intervenção

Corrente elétrica de alta frequência pode ser utilizada para matar insetos (besouros), mas desde que o substrato não possua metais em sua composição [Van der Molen, 1980].

Calor seco ou úmido é utilizado na desinfestação e desinfecção de materiais orgânicos. A aplicação de vapor aquecido para a desinfecção de livros ainda é uma das técnicas mais

amplamente utilizadas. Uma temperatura de 95°C com teor de umidade de 40% por 4 horas é o recomendado [Zuffi, 1988].

A exposição de papel a condições agressivas, como a temperatura elevada por um período de horas, pode fornecer informações relativas a mudanças físicas e químicas da estrutura do papel que podem ocorrer no período de anos.

Segundo Butterfield (1987) a degradação da celulose é muito sensível à umidade. A comparação do envelhecimento acelerado quando comparado com o envelhecimento natural, indica que é necessária certa quantidade de umidade na atmosfera de envelhecimento. Dessa maneira, o envelhecimento acelerado a seco de celulose é muito menos sensível do que o envelhecimento acelerado em atmosfera úmida. Porém o primeiro é de aplicação mais simples e, neste trabalho, foi considerado suficiente para indicar variações na qualidade do envelhecimento após diferentes tratamentos.

A inativação de microrganismos por ultrassom é atribuída à cavitação. Esta afeta os sistemas biológicos em razão do surgimento e colapso de bolhas microscópicas, o que leva a um aumento localizado da temperatura e “stress” mecânico. Em razão de seu efeito letal limitado em esporos, o ultrassom pode ser utilizado apenas como ferramenta de desinfecção e não como procedimento de esterilização [Raso, 1998].

Outros métodos utilizados para eliminar infestações em livros são: a criogenia; a substituição da atmosfera por gases inertes; a redução da pressão, utilizando secadores a vácuo; e a exclusão da luz, prevenindo a fotossíntese dos agentes biodeteriorantes presentes no substrato.

2.3.2 Métodos Mecânicos

Os métodos mecânicos tradicionais envolvem a remoção física do agente biodeteriorantes seja manualmente ou utilizando ferramentas como espátula, formão, jato de ar ou aspirador de pó. Apesar de frequentemente utilizado no passado, estes métodos não produzem efeitos duradouros uma vez que a remoção da cobertura superficial não elimina a atividade microbiana. Além disso, os métodos mecânicos podem danificar o substrato apesar de possuírem a vantagem de não inserir qualquer substância que possa causar dano no futuro. Em alguns casos, os métodos mecânicos podem ser suficientes para erradicar os agentes biodeteriorantes, é o caso dos musgos, líquens e plantas herbáceas. Contudo, um tratamento preliminar com biocida é certamente mais vantajoso na medida em que reduz o crescimento biológico e impede a difusão dos microrganismos.

2.3.3 Métodos Biológicos

Esse método é baseado na introdução de um organismo parasita ou antagonista do agente biodeteriorante. Bactérias, insetos e fagos (vírus que infecta apenas bactéria) podem ser utilizados, mas até o momento esse tipo de intervenção só foi experimentado no setor agrícola [Tiano, 2002].

2.3.4 Métodos Químicos

Muitos compostos orgânicos e inorgânicos têm sido utilizados como agentes biocidas para eliminar os agentes biodeteriorantes em bens culturais.

Os pesticidas são produtos químicos utilizados para matar material biológico indesejado. Eles possuem ação biocida com uma toxidez específica para a espécie a ser eliminada. Estes são classificados de diferentes formas dependendo de sua natureza química, orgânicos ou inorgânicos, ou da espécie a ser eliminada. Também é possível classificar os pesticidas de acordo com o grupo químico ou seu modo de ação. Além dos pesticidas, outros componentes tais como carreadores ou adjuvantes podem melhorar a eficácia do produto ou facilitar sua aplicação. Esses aditivos podem ter efeitos negativos nos objetos que se desejam proteger.

Os desinfetantes são produtos químicos que destroem as formas vegetativas, mas que nem sempre são eficazes contra estruturas resistentes ou fases quiescentes tais como esporos de bactérias, ovos de insetos ou conídios de fungos.

Para substratos orgânicos deve se ter cuidado no uso de biocidas, sendo estes aplicados apenas em ultimo caso.

Para a eliminação de bactérias, microfungos e actinomicetos, têm sido utilizados produtos específicos como antibióticos ou biocidas de amplo espectro, no primeiro grupo estreptomicina, pimafulina, canamicina, econazol e nistatina para o tratamento de têxteis com bom resultado. No segundo grupo tem sido usado, cloreto de benzalcônio, óxido de tributilestanho (TBTO) em conjunto com derivados de cloro, tais como, pentaclorofenato de sódio, o-fenil fenol e p-cloro-m-cresol, muito ativos contra fungos porém com possíveis prejuízos para o substrato devido à liberação de cloro [Tiano, 2002].

Para a eliminação de insetos que se desenvolvem dentro de estruturas de madeira, a melhor solução é o uso de gases tóxicos. Altamente penetrantes e eficientes contra os ovos, é

uma técnica muito difícil de ser executada e demanda cuidados significativos no tocante à segurança dos operadores e das instalações. Além disso, apenas objetos móveis e de pequenas dimensões podem ser tratados. Normalmente, os agentes biodeteriorantes são eliminados por meio da aplicação de inseticidas, seja sintéticos como o 2,2-diclorovinil-dimetilfosfato (DDVP) ou dieldrin, ou naturais como a resmetrina ou permetrina em solventes orgânicos. Nesse caso a eficiência do tratamento está diretamente ligada à completa absorção do produto pela madeira uma vez que este só se tornará efetivo após a ingestão do substrato tratado pela larva.

O problema do uso de pesticidas é sua persistência no solo ou na água que é especialmente significativo em herbicidas que são aplicados ou dispersos em ambientes externos, com elevado risco de contaminação do solo ou da água.

O tempo necessário para que ocorra a reinfestação de um substrato por agentes biodeteriorantes depende das medidas preventivas que forem adotadas para sua conservação. Esse tempo pode ser dilatado por anos se o objeto a ser restaurado for mantido em espaço confinado e em ambiente controlado. Por outro lado, esse tempo pode ser extremamente curto se estes materiais forem deixados expostos às condições ambientais desfavoráveis.

2.3.5 Métodos Bioquímicos

Nesse grupo, consideram-se os sistemas de controle da biodeterioração que utilizam compostos químicos de origem biológica mesmo que produzidos sinteticamente.

Os antibióticos são substâncias produzidas por microrganismos durante seu crescimento de maneira a inibir a competição de outras espécies, as quais são inibidas ou mortas. Esses compostos são ativos em doses muito baixas, mas são bastante sensíveis ao armazenamento.

As enzimas são proteínas que catalisam reações bioquímicas que podem ser utilizadas em poucas ocasiões como biocidas ou para remoção de material aderido. Por exemplo, a enzima proteolítica tripsina tem sido utilizada para remoção de crostas de líquens, contudo relatos indicam sua desvantagem prática dada à dificuldade de se manter uma boa atividade enzimática em função da temperatura e pH.

Os feromônios são substâncias voláteis produzidas por um indivíduo e que possuem ação específica no sexo oposto da mesma espécie. Alguns experimentos têm sido feitos para controle de insetos em museus utilizando armadilhas. Essas substâncias podem ser muito úteis

para uso preventivo considerando-se a dificuldade que os biocidas líquidos possuem em penetrar as camadas mais profundas de substratos atacados por insetos.

2.3.6 Métodos Indiretos

Os métodos indiretos tem por objetivo controlar o ambiente no entorno do substrato. O controle das variáveis climáticas não é aplicável a monumentos e grandes estruturas, mas é possível reduzir o crescimento biológico protegendo o substrato da ação das chuvas, realizando limpezas periódicas ou por meio da aplicação de selantes.

Com o objetivo de reduzir o risco biológico, substratos orgânicos devem ser mantidos em espaços confinados, desde que estes espaços possuam condições de temperatura e umidade adequadas para evitar a disseminação de agentes biológicos como esporos de bactérias, ovos de insetos ou conídios de fungos. Para que o desenvolvimento de fungos seja limitado é necessário um teor de umidade abaixo de 60%, enquanto que para a disseminação de insetos seja reduzida são necessárias temperaturas entre 16-18°C [Tiano, 2002].

As medidas preventivas contra insetos são a conservação dos objetos dentro de caixas ou containers tratados com inseticidas enquanto que a circulação de insetos voadores pode ser reduzida por meio do uso de filtros de ar e telas.

2.4 EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

Segundo Tauhata (2003) as células são envolvidas por uma membrana citoplasmática que no caso das células vegetais é reforçada por uma parede mais rígida feita de celulose. Na figura 1 pode-se ver um núcleo facilmente identificável onde se encontram três componentes: nucleoplasma, cromossomos e os nucléolos. O nucleoplasma contém proteínas e sais. Os cromossomos consistem de ácido desoxirribonucleico (DNA) e proteína. Os nucléolos são pequenos corpos que contém nucleoproteínas formadas por ácido ribonucleico (RNA).

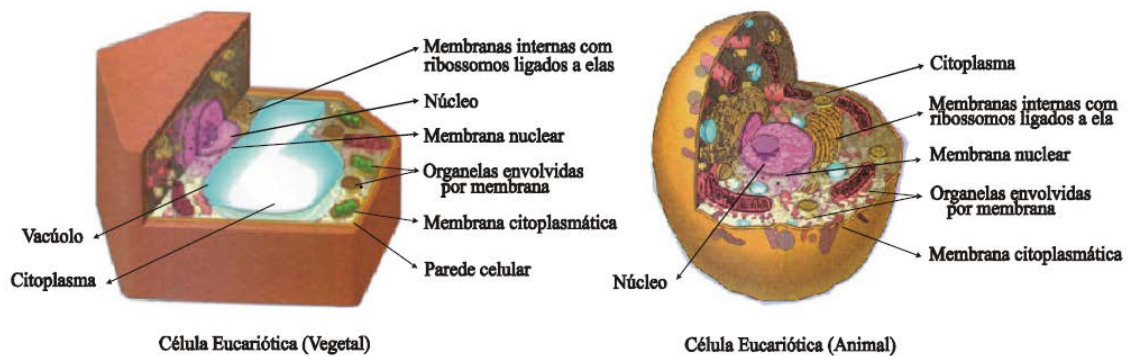


Figura 2.1 – Ilustração de célula vegetal e animal típicas [Tauhata, 2003]

Os fótons de radiação gama são os mais penetrantes e causam danos biológicos diferentes conforme a dose, energia e tipo de irradiação. Assim, na esterilização e conservação de bens culturais são utilizados feixes capazes de alterar a estrutura das moléculas levando os organismos à morte.

Se a energia de excitação ultrapassar a energia de ligação entre os átomos pode ocorrer quebra das ligações químicas e consequentes mudanças moleculares. Assim, as células compostas por estas moléculas alteradas podem sofrer as consequências de forma direta ou indireta, com a produção de radicais livres, íons ou elétrons e que atacam o DNA conforme descrito no diagrama da figura 2.

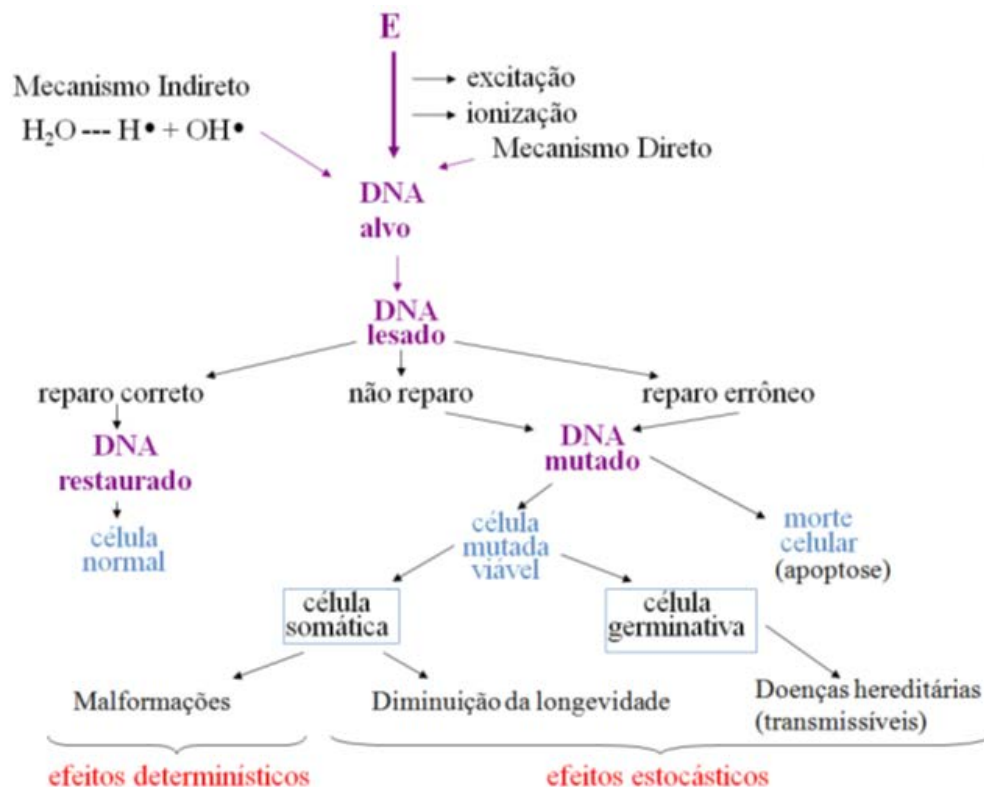


Figura 2.2 – Lesão no núcleo e no citoplasma induzida por radicais livres e espécies ativas de O_2 .

Dos danos celulares, os mais importantes são os relacionados à molécula do DNA. As lesões podem ser de quebras simples ou duplas, ligações cruzadas (entre DNA-DNA ou entre DNA-proteínas) e alterações nos açúcares ou bases como pode ser visto na figura 3.

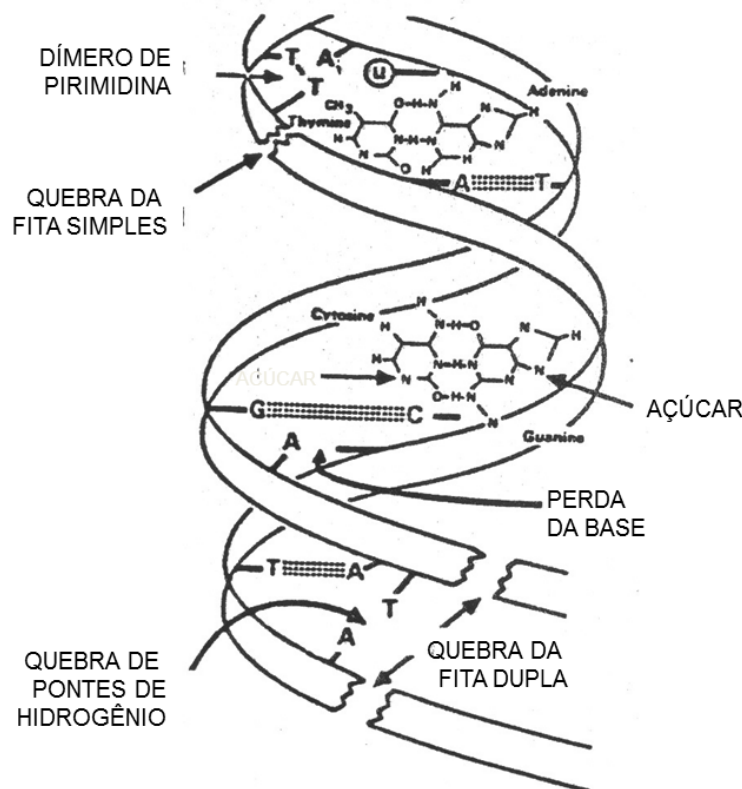


Figura 2.3 – Tipos de lesões induzidas no DNA por radiação ionizante.

Quando a dose de radiação é elevada as células atingidas podem não suportar as transformações e morrem, após tentativas de se dividir. Essa perda de células em quantidade considerável ultrapassa a taxa de reposição impedindo a compensação, assim, se ultrapassa o limiar de dose que o organismo é capaz de suportar levando à sua morte [Tauhata, 2003].

2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA

A resistência mecânica do papel é a maneira como este resiste à ação de forças externas, da umidade e do calor, dependendo de sua composição fibrosa e de sua formação.

Esta resistência, sendo um termo vago, precisa ser identificada quanto à sua natureza, e suas propriedades comparadas antes e depois dessas exposições que podem ser de ordem mecânica, química ou óptica.

Nenhum destes ensaios, no entanto, é uma medida fundamental, mas uma combinação de vários fatores, como flexibilidade, ligações de fibras e resistência da fibra. Tais fatores dependem, entre outros, do tipo de fibras, do comprimento e espessura das fibras, da flexibilidade das fibras individuais, do número de ligações entre fibras, da resistência das ligações individuais, da gramatura do papel, da densidade aparente e da umidade.

A resistência a dobras duplas é o indicador mais sensível da deterioração do papel com o envelhecimento e as variações encontradas podem mostrar previamente se há variação em outras características mecânicas. Na prática, para o desempenho de um papel com fim determinado, só um ensaio mecânico não é significativo para poder deduzir se o papel reúne as condições necessárias para sua utilização [ABNT, 2002].

É muito importante obter pelo menos um par de ensaios mecânicos diferentes, significativos para uma determinada aplicação. Assim, diante dos ensaios tipicamente usados para demonstrar propriedades mecânicas, escolheu-se trabalhar com os ensaios de resistência ao rasgo (ABNT NBR NM-ISSO, 1974) e resistência a dobras duplas (ABNT NBR 5336, 2002).

2.5.1 Resistência ao rasgo

O teste de resistência ao rasgo mede o esforço necessário para rasgar o produto em uma distância fixada depois de o rasgo ter iniciado. O produto tem maior resistência ao rasgo na direção perpendicular às fibras (transversal). Quanto mais longa a fibra, maior a resistência ao rasgo.

2.5.2 Resistência às dobras duplas

O teste de resistência às dobras duplas mede o número de dobras duplas que o produto suporta sob tensão antes de se romper. Em geral, há maior resistência na direção transversal às fibras. Fibras longas, com elevado grau de entrelaçamento, produzem papéis mais resistentes à dobra. O conteúdo de umidade influencia fortemente a resistência [ISO, 1993].

2.6 MEDIDAS DE ALTERAÇÃO CROMÁTICA

O envelhecimento de bens culturais que possuem papel em sua composição se dá principalmente em razão da degradação da celulose, resultado direto da ação de agentes

externos tais como: umidade, radiação ultravioleta, radiação visível, agentes poluentes e microrganismos, geralmente agindo simultaneamente. O processo global de degradação pode ser resumido como uma combinação de duas reações químicas correlatas, a hidrólise ácida das ligações glicosídicas da celulose, o que diminui o comprimento da cadeia polimérica resultando na redução da resistência mecânica das folhas, e a oxidação com o subsequente desenvolvimento de vários subprodutos. Entre os subprodutos da oxidação estão os grupos carbonila de diversos tipos e que são responsáveis pelo amarelamento, sendo chamados de cromóforos.

A coloração amarelada observada em papéis envelhecidos se deve principalmente ao fato de os cromóforos na celulose, absorverem na porção superior do espectro visível (região do azul e violeta) refletindo majoritariamente a porção amarela e vermelha do espectro.

Para verificar a diferença na coloração entre as diversas amostras, foram analisados os histogramas de cor relativos aos canais Vermelho, Verde e Azul. Cada uma destas cores tem sua faixa tonal delimitada individualmente, enquanto o histograma RGB soma todas elas.

[...] em processamento de imagens, trabalha-se sempre com os tons de cinza (digital numbers ou DN's) atribuídos aos pixels de uma imagem. O histograma é uma das formas mais comuns de se representar a distribuição dos DN's de uma imagem, e possivelmente a mais útil em processamento digital de imagens. Ele fornece a informação sobre quantos pixels na imagem possuem cada valor possível de DN (que, no caso das imagens de 8 bits, variam de 0 a 255) ou, de forma equivalente, qual a proporção da imagem que corresponde a cada valor de DN.

Os histogramas são também conhecidos como distribuição de intensidades e Função de Densidade de Probabilidade (PDF). Esse último termo advém do fato de que, estatisticamente, o histograma representa, neste caso, a probabilidade de se achar um DN de um dado valor dentro de uma imagem.

Outro ponto importante com relação a histogramas é que eles representam dados digitais, também chamados de discretos. Assim sendo, a distribuição de intensidades é representada por colunas discretas, que não podem ser divididas ou "quebradas", correspondentes a números inteiros (em contraposição a números fracionários). Esse conceito assume importância ao se tratar de realce de contraste em imagens [UFRGS, 2017].

Ao se observar o histograma de uma imagem, tem-se uma noção instantânea sobre as características da mesma. A forma do histograma fornece informações, tais como intensidade média e espalhamento dos valores de DN; este último, por sua vez, dá a medida do contraste de uma imagem: quanto maior o espalhamento ao longo do eixo dos DN's, maior o contraste da imagem [UFRGS, 2017].

2.7 CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DA TAXA DE DOSE POR MCNPX

O código Monte Carlo N-Particle eXtended (MCNPX) é um código utilizado para calcular o transporte de radiação baseado no Método de Monte Carlo e tem sido extensivamente utilizado em simulações computacionais relacionadas à modelagem de fluxos gama e distribuição de taxa de dose radioativa, sendo utilizado com sucesso para modelar câmaras de irradiação. O Código MCNPX é especialmente útil na solução de problemas complexos que não podem ser simulados por códigos computacionais que utilizam métodos determinísticos [Araújo Jr., 2014].

[...] em termos de transporte de radiação, o método MCNPX pode ser visto como uma família de partículas cujas coordenadas individuais mudam aleatoriamente em cada colisão. O comportamento médio destas partículas é descrito em termos e grandezas macroscópicas como fluxo ou densidade de partículas. O valor esperado destas grandezas corresponde à solução determinística da equação de Boltzman (que rege o fenômeno de transporte de radiação). Grandezas específicas como energia depositada ou dose são derivadas destas grandezas [Araújo Jr, 2014].

O resultado desejado é obtido por meio da estimativa do valor médio das grandezas observadas, durante um determinado número de simulações (tentativas ou histórias), seguido do seu respectivo erro relativo [Araújo Jr, 2014].

Os dados de distribuição de taxa de dose são utilizados para determinar a estimativa de dose nas amostras irradiadas utilizando o Código MCNPX, dessa maneira é possível simular o comportamento de uma amostra, levando em consideração o formato, composição e densidade dos itens irradiados, antes de expô-la à radiação oriunda da fonte gama de ^{60}Co .

Para fins de cálculo de dose absorvida admite-se que o sistema encontra-se em equilíbrio eletrônico, ou seja:

- i. A composição atômica do meio é homogênea
- ii. A densidade do meio é homogênea
- iii. Existe um campo uniforme de radiação indiretamente ionizante
- iv. Não existem campos eletricos ou magnéticos não homogeneos

Nestas condições, pode-se afirmar que o *kerma* de colisão (K_c) é igual à dose absorvida (D), ou seja, a energia média absorvida na região de interação é igual à energia total transferida ao material [Tauhata, 2003].

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 AMOSTRAS DE PAPEL

Tomaram-se quatorze conjuntos com dez folhas cada de papel sulfite tamanho A4 (210 x 297 mm) e gramatura 75g.m⁻². Doze conjuntos tiveram um dos lados coloridos em equipamento multifuncional laser colorido da marca Ricoh, modelo Aficio MP C2050 com resolução de impressão de 1200x1200 dpi, nas cores ciano (RGB 0,255,255), magenta (RGB 255,0,255), amarelo (RGB 255,255,0) e preto (RGB 0,0,0).

Todos os conjuntos de folhas foram cortados, na mesma orientação, no tamanho A6 (105 x 148 mm). As proporções entre as dimensões das amostras podem ser visualizadas na figura 1 e na tabela 1.

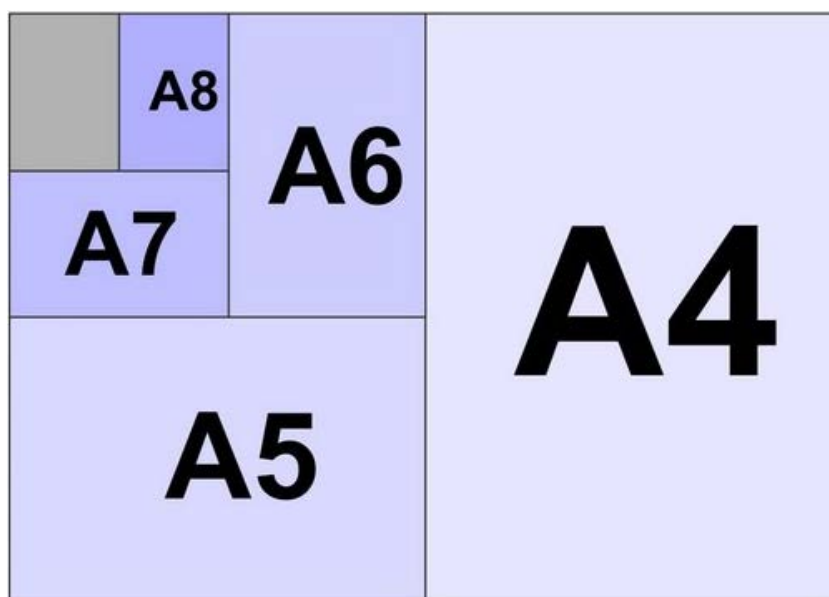


Figura 3.1: Proporcionalidade de tamanhos dos papéis da série A, a partir do tamanho A4 [ABNT, 2012].

Tabela 3.1: Tamanhos de papel da série A em milímetros [ABNT, 2012].

Série A	
A4	210 X 297
A5	148 X 210
A6	105 X 148
A7	74 X 105
A8	52 X 74

As amostras resultantes foram submetidas às condições listadas abaixo antes de serem submetidas aos testes de; resistência ao rasgo, resistência às dobras duplas e medida de alteração cromática:

- I** Controle; nenhum tratamento.
- II** Irradiação UV; amostra exposta à radiação UV de 365 nm por três dias (72 h) conforme a norma ABNT NBR 14915 (2002)
- III** Irradiação gama; amostras submetidas a 0,5; 2,0; 5,0; 10,0 e 15,0 KGy de dose total.
- IV** Envelhecimento; amostras submetidas a envelhecimento térmico a seco por três dias (72 h) conforme a norma ABNT NBR 14915 (2002).
- V** Irradiação gama e envelhecimento; amostras submetidas ao tratamento III foram cortadas no tamanho A7 (74 x 105 mm) e a amostra resultante foi submetida ao tratamento IV.

Em todos os casos as amostras foram acondicionadas em envelopes herméticos metalizados com o objetivo de mantê-las ao abrigo da luz evitando possível fotodegradação.

3.2 IRRADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

As amostras de papel foram submetidas a envelhecimento UV de 365 nm com lâmpada Spectroline modelo EA-160 montada em estufa da marca Ethik com ventilação forçada a uma distância relativa da amostra de 28 cm conforme pode ser visto na figura 2. As amostras foram colocadas na estufa a 28,0° C e umidade relativa de 63,0% e, conforme a norma ABNT NBR 14915 o envelhecimento foi realizado por três dias (72 h). Houve um ganho de temperatura de 3,0 °C no interior da estufa em razão da ação da lâmpada. Após as setenta e duas horas do procedimento a temperatura havia se estabilizado em 29,4 °C \pm 0,1 °C e a umidade relativa caiu para 53,0%.



Figura 3.2 – Amostras em estufa com ventilação forçada sendo submetidas a envelhecimento acelerado por radiação UV [O autor, 2016].

3.3 IRRADIAÇÃO GAMA

3.3.1 Irradiador 1 - UFRJ / COPPE

A instalação de irradiação do Laboratório de Instrumentação Nuclear (LIN) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) é composta por um irradiador de pesquisas da marca MDS Nordion, modelo Gamacell Excel 220 como pode ser visto na figura 3. Atualmente, suas fontes de ^{60}Co com atividade de 1,2 KCi fornecem uma taxa de dose máxima de $0,83 \text{ KGy.h}^{-1}$ em uma câmara de irradiação cilíndrica de 15,5 cm de diâmetro por 20,5 cm de altura. A fonte gama consiste de 48 cilindros de 21 cm de altura, duplamente encapsulados, contendo cobalto e dispostos radialmente ao redor da câmara de irradiação como pode ser visto no diagrama da figura 4. Um sistema eletromecânico situado na parte superior do equipamento movimenta a amostra para dentro da câmara de irradiação que por sua vez não se movimenta.



Figura 3.3: Irradiador multipropósito MDS Nordion Gamacell Excel 220 instalado no Laboratório de Instrumentação Nuclear, COPPE / UFRJ [O autor, 2017].

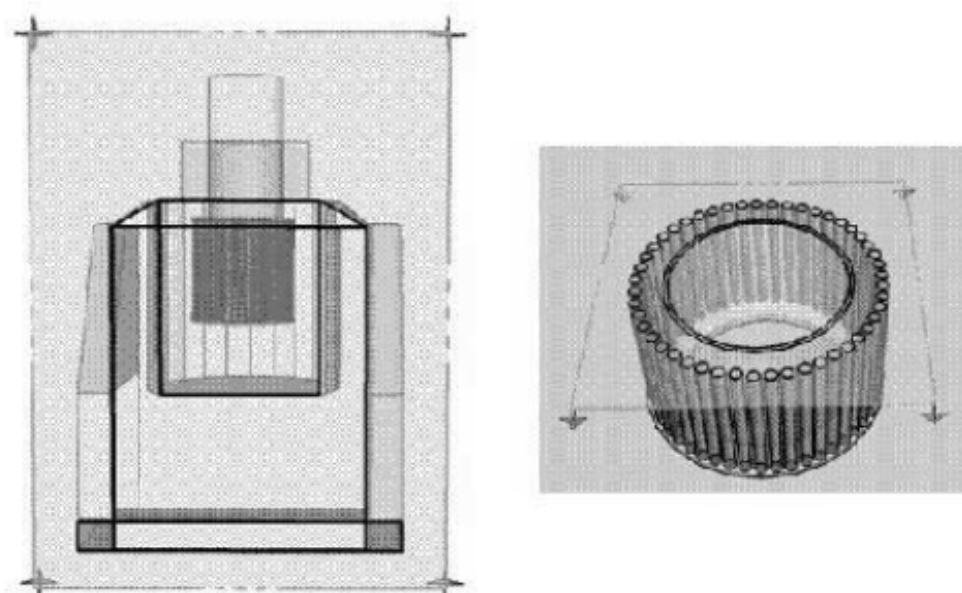


Figura 3.4 – Corte frontal do irradiador Nordion Gamacell Excel 220 e vista superior de suas fontes [Rodrigues, 2010].

O último mapeamento dosimétrico da câmara foi realizado no ano de 2005 e indicou uma homogeneidade da distribuição da taxa de dose com variação em torno de $\pm 4\%$ [Conceição, 2006].

A fonte de ^{60}Co possuía atividade de 11,75 KCi em MAR/1999. Assim, a atividade corrigida para JUN/2016, data em que foram realizadas as irradiações, será conforme se segue:

$$\frac{1}{2} \text{ vida } ^{60}\text{Co}: 1925,28 \text{ dias} = 5,27 \text{ ano}$$

$$\lambda = 0,693/5,27 = 0,13 \text{ ano}^{-1}$$

$$A = 11,75 \cdot 10^3 \cdot e^{-0,13 \cdot 17,25} = 1,218 \text{ KCi}$$

Assim, foram realizadas irradiações pelo tempo necessário para se alcançar as doses propostas conforme tabela 3.2 a seguir.

Tabela 3.2: Tempos de exposição de cada uma das amostras no Irradiador 1.

Amostra	Tempo de irradiação (min)	Dose Total (KGy)
1	36,1	0,499
2	144,5	1,999
3	361	4,994
4	722	9,988
5	1083	14,98

3.3.2 Irradiador 2 – IDQBRN / EB

A instalação de irradiação do Instituto de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (IDQBRN) do Exército Brasileiro (EB), localizada no Centro Tecnológico do Exército (CTEx), é composta por um irradiador de pesquisas do tipo cavidade de 19 toneladas conforme pode ser visto na figura 5. Atualmente, suas fontes de ^{137}Cs com atividade de 43,2 KCi fornecem uma taxa de dose máxima de $1,45 \text{ KGy} \cdot \text{h}^{-1}$ em duas câmaras de irradiação retangulares de 68 cm de largura, 137 cm de comprimento e 20 cm de altura posicionadas acima e abaixo do plano da fonte gama. A fonte gama consiste de vinte e oito placas paralelas espaçadas, duplamente encapsuladas contendo cloreto de cério ^{137}Cs conforme pode ser visto no diagrama das figuras 6 e 7. Além disso, um sistema pneumático permite que não somente a porta de acesso seja movimentada, mas também as fontes, por meio de um painel de controle.

O mapeamento dosimétrico da câmara, realizado em 2000, indica uma homogeneidade da distribuição da taxa de dose com variação em torno de $\pm 3\%$ [Araújo Jr, 2014].

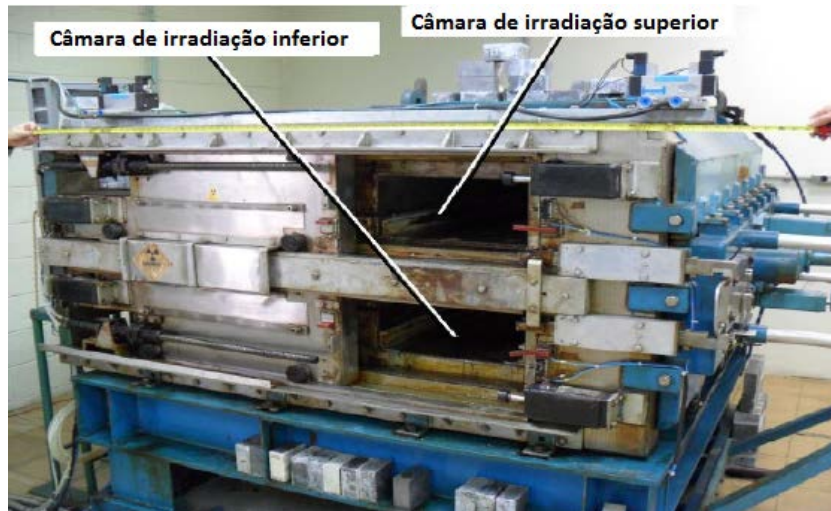


Figura 3.5: Vista frontal do irradiador gama do IDQBNR com as portas abertas [Rusin, 2011].

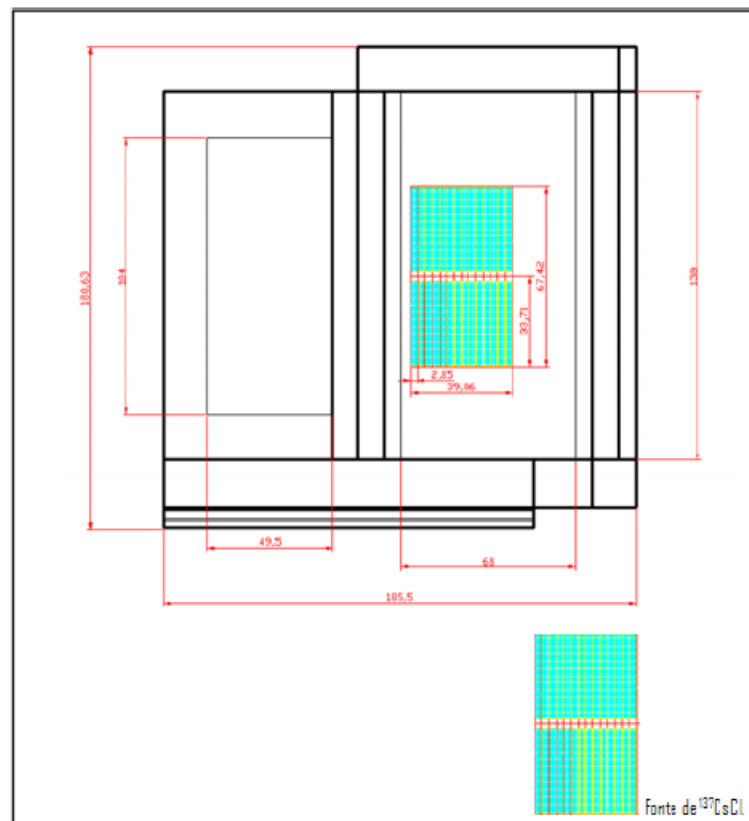


Figura 3.6 – Seção horizontal do irradiador do CTEx com a fonte (medidas em cm) [Araújo Jr, 2014].

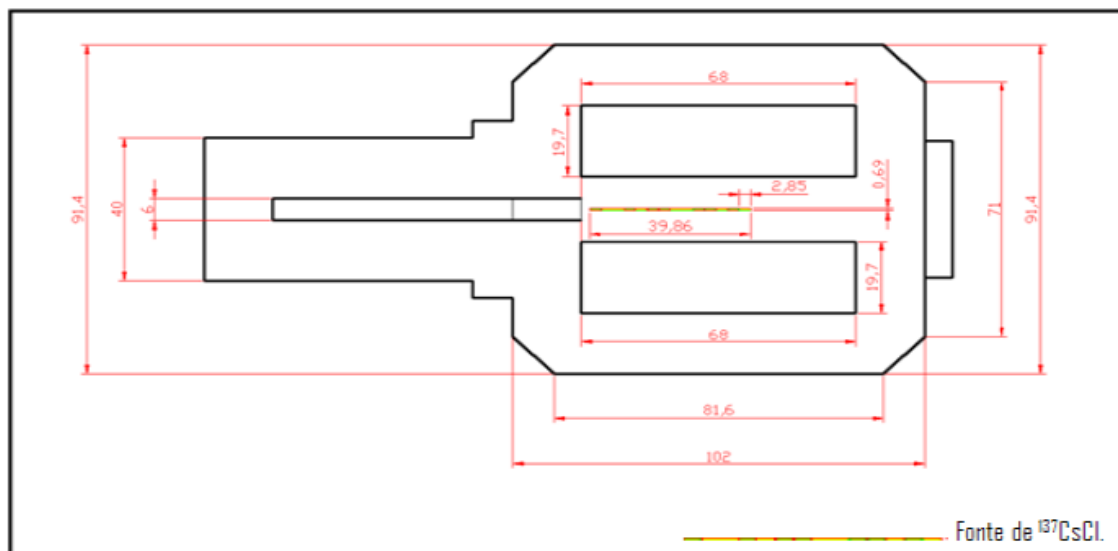


Figura 3.7 – Seção vertical do irradiador do CTEx com a fonte (medidas em cm) [Araújo Jr, 2014]

Assim, foram realizadas irradiações pelo tempo necessário para se alcançar as doses propostas conforme tabela 3.3 a seguir.

Tabela 3.3: Tempos de exposição de cada uma das amostras no Irradiador 2.

Amostra	Tempo de irradiação (min)	Dose Total (KGy)
1	22,6	0,499
2	90,4	1,997
3	225,9	4,993
4	451,8	9,985
5	677,7	14,98

3.4 ENVELHECIMENTO TÉRMICO SECO

Dessa maneira, realizou-se o envelhecimento acelerado com calor seco a $105^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ conforme a norma ABNT NBR 14915 utilizando estufa da marca Ethik com circulação forçada por três dias (72h). As amostras foram colocadas na estufa a $24,7^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de 62,7% e foi estabelecida uma taxa de aquecimento de $5^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$. Após as setenta e duas horas do procedimento a umidade relativa caiu para 47,8%.

3.5 TESTES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

3.5.1 Resistência ao rasgo

Realizou-se o teste de resistência ao rasgo conforme a norma ABNT NBR NM-ISO 1974 (2001), utilizando um equipamento Elmendorf modelo EF-124. Cada uma das vinte e três amostras tinha as dimensões de 74 mm x 62 mm e foram cortadas a partir da amostra original com as dimensões de 105 mm x 148 mm na mesma direção de fabricação e transversalmente.

3.5.2 Resistência às dobras duplas

Realizou-se o teste de resistência à dobra conforme a norma ABNT NBR 5336 (2002) utilizando um equipamento da marca TMI, modelo M.I.T. EF-047. Cada amostra tinha as dimensões de 15 mm x 105 mm e foram cortadas a partir da amostra original com as dimensões de 105 mm x 148 mm na mesma direção de fabricação e transversalmente.

3.6 MEDIDAS DE ALTERAÇÃO CROMÁTICA

Realizou-se a medida de alteração cromática utilizando uma “máscara” em papel ofício preto com uma abertura de 37 mm x 105 mm onde a amostra a ser avaliada era posicionada. Tal configuração tinha por objetivo estabelecer uma medida comparativa em todos os histogramas, assim, as amostras foram posicionadas e “escaneadas” mantendo-se o mesmo fundo de maneira que possíveis variações na intensidade de luminosidade da lâmpada do equipamento utilizado puderam ser medidas e corrigidas por meio da razão de contraste das amostras frente ao contraste do fundo que funciona como padrão.

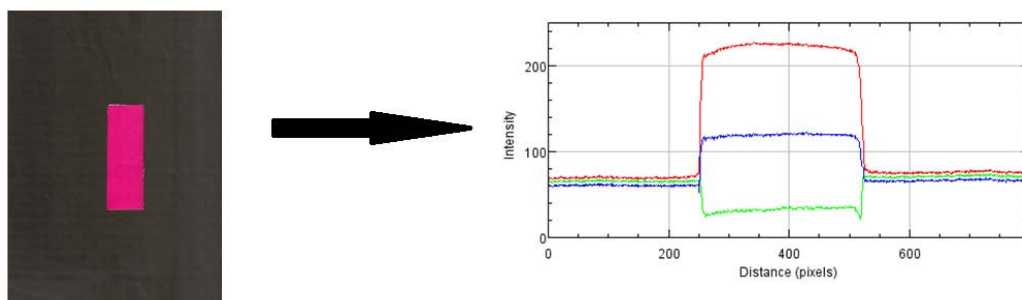


Figura 3.8 – Exemplo de composição colorida da imagem da amostra na cor magenta (irradiada a 10 KGy no irradiador 1) com o respectivo histograma. A ordenada varia de 0 a 255, e mostra a intensidade do contraste em cada banda. A abcissa mostra a quantidade de pixels em cada imagem.

Realizou-se a medida de alteração cromática utilizando-se uma impressora multifuncional HP Photosmart C4480 com resolução de digitalização de 1200 x 1200 dpi e convertendo a imagem em histograma por meio do programa Image J, versão IJ 1.46r. Em seguida, os dados digitais foram abertos por meio do programa Peak Fit, versão 4.11, para que pudessem ser lidos e quantificados, em duas faixas: entre 50 e 150 pixels estabelecendo, assim, o valor médio do padrão de controle a ser utilizado em cada imagem; e entre 350 e 450 pixels, onde cada banda de determinada cor teve sua intensidade medida individualmente.

3.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para determinar se existe diferença significativa entre os resultados de resistência mecânica das amostras submetidas aos três tratamentos (irradiação gama, irradiação UV e envelhecimento térmico acelerado), quando comparados à amostra de controle não tratada, utilizou-se o Teste t de Student.

Esse método de análise estatística permite que seja realizada uma comparação entre dois conjuntos de dados, o resultado indicando se há diferença significativa entre eles.

O Teste t consiste em formular uma hipótese nula e consequentemente uma hipótese alternativa, calcular o valor de t conforme a fórmula apropriada e aplicá-lo à função densidade de probabilidade da distribuição t de Student medindo o tamanho da área abaixo dessa função para valores maiores ou iguais a t . Essa área representa a probabilidade da média das amostras em questão terem apresentado os valores observados. Se a probabilidade desse resultado ter ocorrido for muito pequena, podemos concluir que o resultado observado é estatisticamente relevante. Essa probabilidade também é chamada de p-valor ou valor p . Consequentemente, o nível de confiança α é igual a $(1 - \text{valor } p)$ [Barros Neto, 2003].

Para cálculo do valor “p” foi estabelecido um nível de confiança de 95%, assim, pode-se afirmar que, nos casos em que a área abaixo da função densidade de probabilidade da distribuição t de Student for menor que 5%, a hipótese nula é rejeitada.

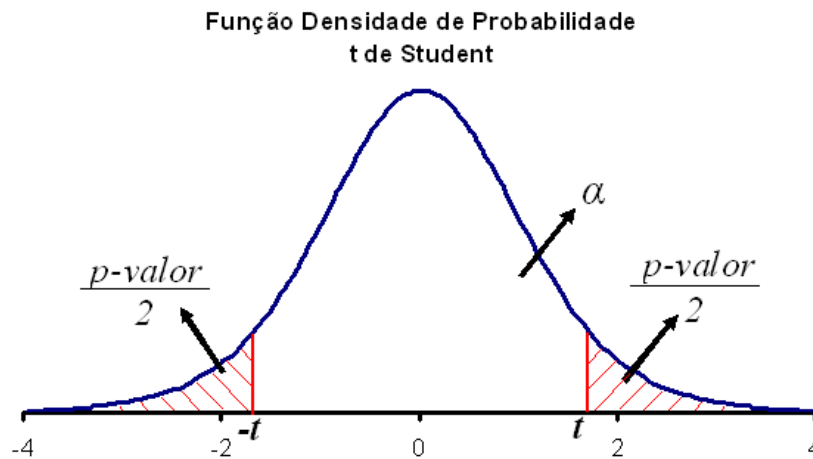


Figura 3.9 - Função Densidade de Probabilidade para t de Student, indicando o nível de confiança α e o valor p bicaudal para determinado t [Wikimedia Commons, 2010]

Para o cálculo da estatística t (valor p) estipula-se que a hipótese nula é $\bar{x} \leq \mu_0$, onde:

Equação 3.1

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

- \bar{x} = média amostral
- μ_0 = valor fixo usado para comparação com a média da amostra (0,05)
- s = desvio padrão amostral
- n = tamanho da amostra
- t = estatística “t” de Student

O valor de intensidade de contraste relativo para cada amostra submetida a uma determinada dose total é calculado a partir do valor médio de contraste obtido em cada banda entre 350 e 450 pixels dividido pelo valor médio de contraste obtido na área de referência entre 50 e 150 pixels, onde:

Equação 3.2

$$I_R = \frac{\bar{I}_{350:450}}{\bar{I}_{50:150}}$$

- I_R = valor de intensidade de contraste relativo
- $\bar{I}_{350:450}$ = valor médio de contraste obtido em cada banda entre 350 e 450 pixels
- $\bar{I}_{50:150}$ = valor médio de contraste obtido na area de referência entre 50 e 150 pixels

Para determinar se existe diferença significativa entre os resultados de alteração cromática das amostras submetidas à irradiação gama com e sem envelhecimento térmico acelerado, quando comparados à amostra de controle não tratada, calculou-se a equação da reta do gráfico obtido onde a ordenada varia com a intensidade do contraste relativo em cada banda, e a abcissa mostra a dose total em KGy a que a amostra foi submetida conforme se pode ver na figura 8.

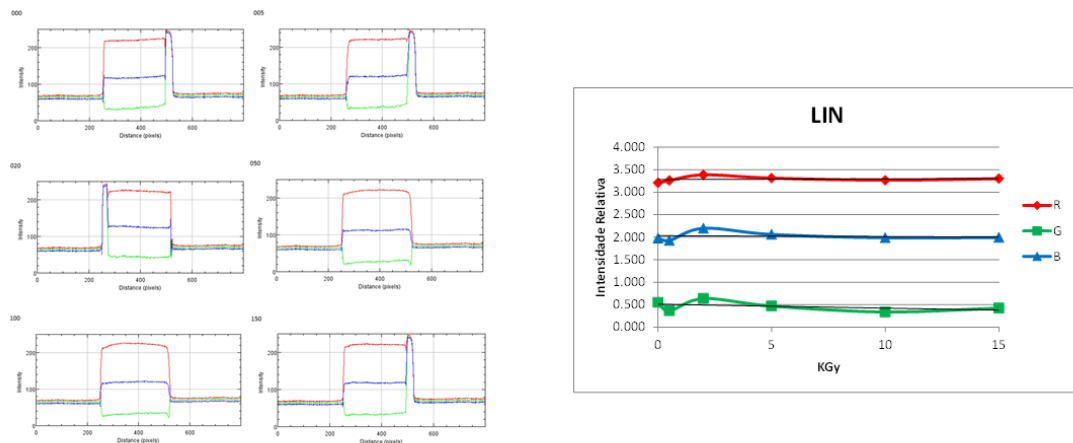


Figura 3.10 – Exemplo de composição colorida de todos os espectros obtidos a partir das amostras na cor magenta (irradiadas no irradiador 1) com o respectivo gráfico onde a ordenada mostra a intensidade de contraste relativo, e a abcissa mostra a dose total a que a amostra foi submetida.

Assim, quanto menor o valor do coeficiente angular da reta obtida, menor será a influencia da radiação na variação de contraste para determinada cor em cada uma de suas bandas.

3.8 CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DA TAXA DE DOSE PELO CÓDIGO MCNPX

As geometrias simplificadas de cada um dos irradiadores assumem que a amostra foi posicionada no centro geométrico da fonte gama. Assim, determinada a dose no ar, pode-se obter a dose em um meio material qualquer por meio de um fator de conversão (f) onde:

Equação 3.3

$$\frac{D_m}{D_{ar}} \cdot \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_m}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{ar}} \cdot f$$

- D_m – Dose absorvida no papel
- D_{ar} – Dose absorvida no ar
- $\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_m$ – Coeficiente de absorção de energia em massa do papel
- $\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{ar}$ – Coeficiente de absorção de energia em massa do ar
- f – fator de conversão

Como a modelagem simplificada dos irradiadores foi tal que o resultado obtido fosse expresso em dose absorvida no material, foi possível calcular o fator de conversão e o coeficiente de absorção de energia em massa (μ_{en}/ρ) do papel para cada energia.

3.8.1 Modelagem simplificada do Irradiador 1 - UFRJ / COPPE

A modelagem simplificada do irradiador Nordion Gamacell Excel 220 utilizado na UFRJ / COPPE, foi feita de tal forma que a fonte de ^{60}Co foi constituída por um cilindro, modelado na forma de fonte volumétrica ao redor da câmara de irradiação, seguindo os seguintes parâmetros:

- Densidade média aproximada – $0,4 \text{ g.cm}^{-3}$, estimada com base na gramatura do papel (75 g.m^{-2}), corrigida para o espaçamento entre elas devido à rugosidade da superfície (correção de 1,4%).
- Atividade da fonte de Co^{60} – $1,22 \text{ KCi}$
- Taxa de dose máxima – $0,83 \text{ KGy.h}^{-1}$
- Fonte – cilindro centrado em z com 10,5 cm de raio e 21 cm de altura.
- Estrutura 10 – paralelogramo com as dimensões (10,5 / 0,1 / 14,8) cm equivalente a 10 folhas de papel empilhadas e posicionadas no centro do cilindro.
- Estrutura 20 – cilindro centrado em z com 7,75 cm de raio e 20,5 cm de altura equivalente as dimensões internas da câmara de irradiação.
- Estrutura 30 – cilindro centrado em z com 12,5 cm de raio e 25 cm de altura equivalente as dimensões externas da câmara de irradiação que possui 2 cm de espessura em Pb.

A resposta de saída do Código MCNPX é em MeV.g^{-1} (por fóton/partícula emitido pela fonte em 4π). Dessa maneira, é necessário transformar MeV.g^{-1} em Gy de maneira a informar diretamente na saída do programa a dose absorvida.

Equação 3.4

$$1 \frac{\text{MeV}}{\text{g}} = 1,6 \times 10^{-10} \text{ Gy}$$

Para ^{60}Co as emissões gama tem probabilidade de 100% de fóton por decaimento, assim, o fator de multiplicação (FM6) será conforme se segue:

Equação 3.5

$$FM6 = A \times 3,7 \times 10^{10} \frac{\text{des}}{\text{s}} \times 1,00 \frac{\text{fóton}}{\text{des}} \times 1,6 \times 10^{-10}$$

$$FM6 = 7,222 \times 10^3$$

Onde “A” é a atividade da fonte em Curie (Ci) sendo necessário um fator de ajuste em decaimentos por segundo para converter esse valor.

Definidos todos os parâmetros foi possível, então, montar o arquivo de entrada no MCNPX que descreve os parâmetros das células, das superfícies e dos dados físicos:

```
c Created on: Wednesday, July 27, 2017 at 11:20
c com fonte 60Co volumetrica
10 1 -0.4 -1 IMP:P=1 $ pilha de papel
20 2 -0.00125 -2 1 IMP:P=1 $ camara de irradiação di
30 3 -11.35 -3 2 IMP:P=1 $ camara de irradiação do
40 2 -0.00125 -4 3 IMP:P=1 $ contenção
50 0 4 IMP:P=0

1 RPP -5.25 5.25 0.4 0.5 0 14.8 $ pilha de papel
2 RCC 0 0 0 0 0 20.5 7.75 $ camara de irradiação interna
3 RCC 0 0 -2 0 0 25 12.5 $ camara de irradiação externa
4 SO 40 $ contenção

MODE P
SDEF POS = 0 0 0 AXS = 0 0 1 ERG = 1.17 RAD = D1 EXT = D2 PAR = 2
SI1 H 9.31 10.5
SI2 0 21
M1 001000 0.062165 006000 0.444455 008000 0.493380 $ Celulose
M2 006000 0.000151 007000 0.784437 008000 0.210750
018000 0.004671 $ ar seco (C, N, O, Ar)
M3 082000 1.000000 $ Pb
F6:P 10
FM6 7222
E6 0 0.02 78I .8
NPS 1E8
```

3.8.2 Modelagem simplificada do Irradiador 2 - EB / IDQBRN

A modelagem simplificada do irradiador do EB / CTE_x foi feita de tal forma que a fonte de $^{137}\text{CsCl}$ foi constituída de uma placa plana, disposta horizontalmente, modelada na forma de fonte volumétrica, seguindo os seguintes parâmetros:

- Densidade média aproximada – $0,4 \text{ g.cm}^{-3}$, estimada com base na gramatura do papel (75 g.m^{-2}), corrigida para o espaçamento entre elas devido à rugosidade da superfície (correção de 1,4%).
- Atividade da fonte de Cs^{137}Cl – 43,2 KCi
- Taxa de dose máxima - $1,6 \text{ KGy.h}^{-1}$
- Fonte – paralelogramo com as dimensões (39,86 / 0,69 / 67,42) cm.
- Estrutura 10 – paralelogramo com as dimensões (10,5 / 0,1 / 14,8) cm equivalente a 10 folhas de papel empilhadas e posicionadas a 0,4 cm de distancia da fonte.
- Estrutura 20 – paralelogramo com as dimensões (68 / 20 / 137) cm equivalente as dimensões internas da câmara de irradiação.
- Estrutura 30 – paralelogramo com as dimensões (72 / 24 / 141) cm equivalente as dimensões externas da câmara de irradiação que possui 2 cm de espessura em Pb.

Para ^{137}Cs as emissões gama tem probabilidade da ordem de 85% de fóton por decaimento, assim, o fator de multiplicação (FM6) será conforme se segue:

Equação 3.6

$$FM6 = A \times 3,7 \times 10^{10} \frac{\text{des}}{\text{s}} \times 0,85 \frac{\text{fóton}}{\text{des}} \times 1,6 \times 10^{-10}$$

$$FM6 = 2,174 \times 10^5$$

Onde A é a atividade da fonte em Curie (Ci) sendo necessário um fator de ajuste em decaimentos por segundo para converter esse valor.

Definidos todos os parâmetros foi possível, então, montar o arquivo de entrada no MCNPX que descreve os parâmetros das células, das superfícies e dos dados físicos:

```
c Created on: Wednesday, June 21, 2017 at 14:05
c com fonte 137Cs volumetrica
10 1 -0.4 -1 IMP:P=1 $ pilha de papel
20 2 -0.00125 -2 #10 IMP:P=1 $ camara de irradiação di
30 3 -11.35 -3 #10 #20 IMP:P=1 $ camara de irradiação do
40 2 -0.00125 -4 #10 #20 #30 IMP:P=1 $ contenção
50 0 4 IMP:P=0
```

1 RPP 28.75 39.25 3.4 3.5 -75.4 -60.6 \$ pilha de papel
 2 RPP 0 68 0 20 -137 0 \$ camara de irradiação interna
 3 RPP -2 70 -2 22 -139 2 \$ camara de irradiação externa
 4 SO 170 \$ contenção

MODE P

SDEF X = D1 Y = D2 Z = D3 ERG = 0.662 PAR = 2

SI1 14.07 53.93

SP1 0 1

SI2 -0.69 0

SP2 0 1

SI3 -102.21 -34.79

SP3 0 1

M1 001000 0.062165 006000 0.444455 008000 0.493380 \$ Celulose

M2 006000 0.000151 007000 0.784437 008000 0.210750

018000 0.004671 \$ ar seco (C, N, O, Ar)

M3 082000 1.000000 \$ Pb

F6:P 10

FM6 2.1738E5

E6 0 0.02 78I .8

NPS 1E8

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TESTES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

Foram analisados os resultados de todos os cinco conjuntos de amostras, obtendo resultados no sentido da direção das fibras e transversalmente.

4.1.1 Resistência ao rasgo

No laudo emitido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), constante do Anexo 1, é possível encontrar os valores absolutos das medidas e seus respectivos erros para amostras submetidas às cinco condições de análise previstas no item 3.1. Para um melhor tratamento dos dados, os valores absolutos foram convertidos em valores percentuais, a partir dos quais foi possível realizar comparações.

Assim, analisou-se os resultados de resistência ao rasgo das amostras expostas à radiação gama no irradiador 1 e no irradiador 2. Sem envelhecimento térmico seco (amostra III) e com ETS (V). Na direção das fibras e transversalmente a estas.

A figura 1 e a tabela 1 mostram o gráfico de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 1 na direção das fibras e as respectivas equações lineares.

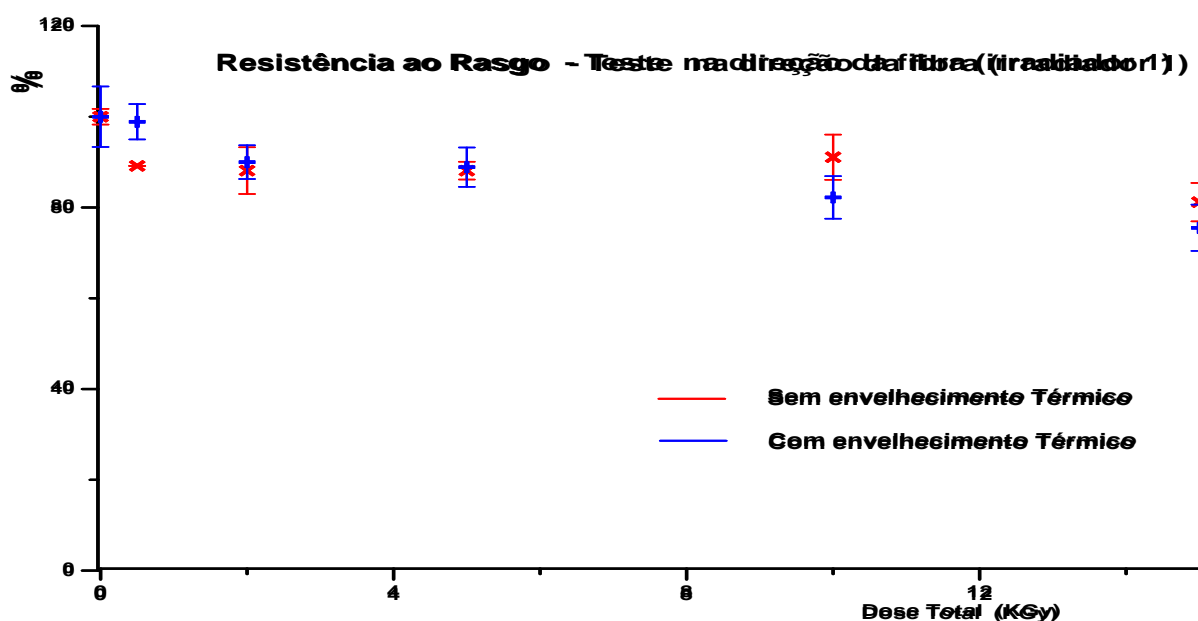


Figura 4.1 – Resultados de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 1 na direção das fibras.

Tabela 4.1 – Equações lineares dos gráficos de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 1 na direção das fibras.

Irradiador 1	DIREÇÃO
III	$y = -0,6872x + 93,333$
V	$y = -1,5247x + 97,512$

A figura 2 e a tabela 2 mostram o gráfico de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 1 transversalmente à direção das fibras e as respectivas equações lineares.

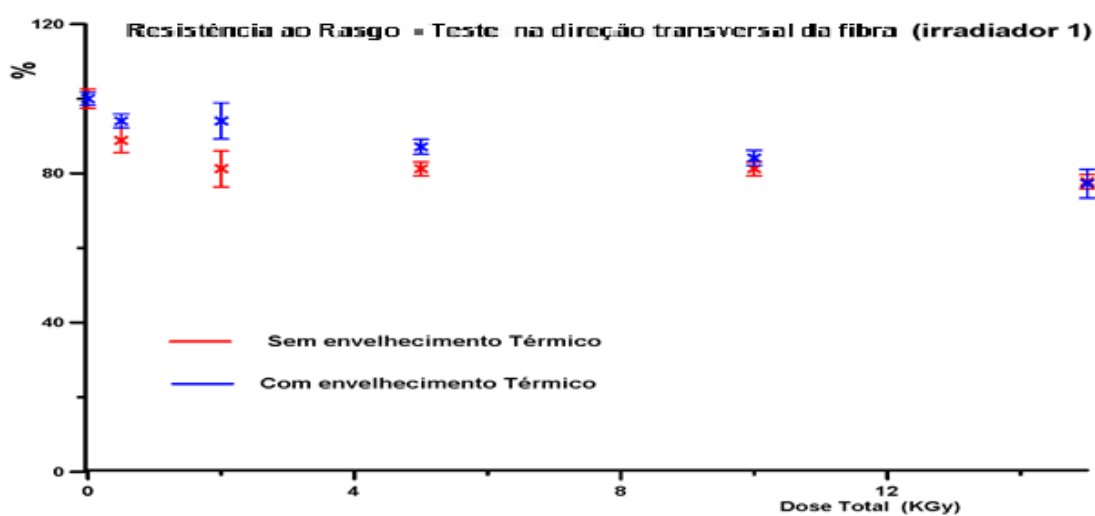


Figura 4.2 – Resultado de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 1 transversalmente à direção das fibras.

Tabela 4.2 – Equações lineares dos gráficos de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 1 transversalmente à direção das fibras.

Irradiador 1	TRANSVERSAL
III	$y = -0,9676x + 90,281$
V	$y = -1,3241x + 96,610$

A figura 3 e a tabela 3 mostram o gráfico de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 2 na direção das fibras e as respectivas equações lineares.

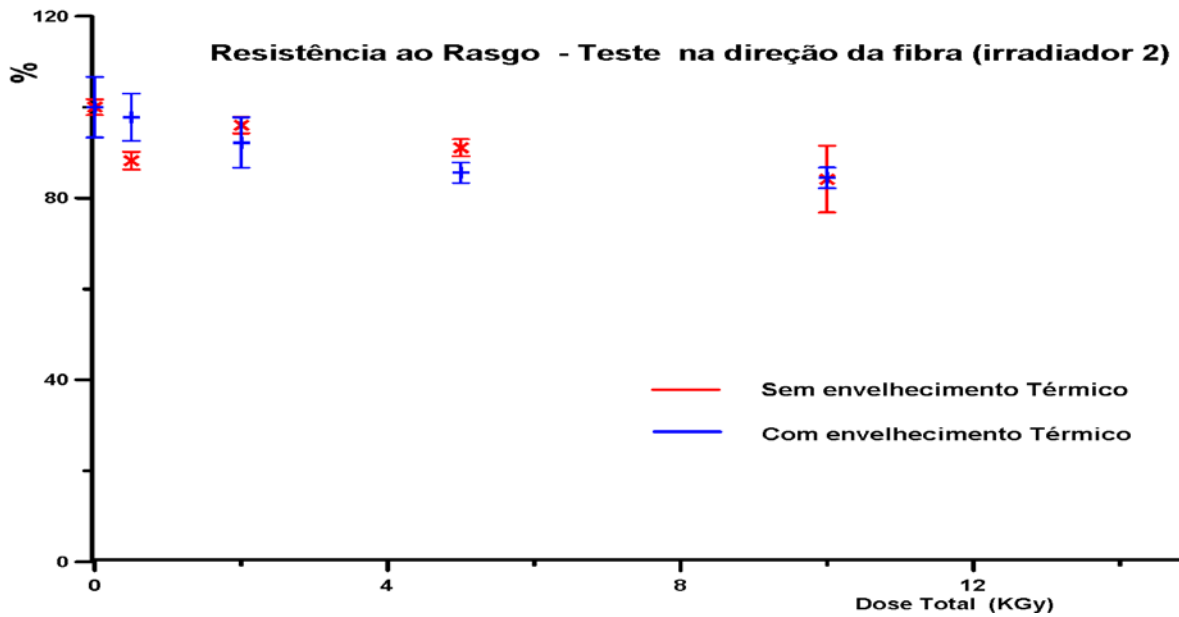


Figura 4.3 – Resultados de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 2 na direção das fibras.

Tabela 4.3 – Equações lineares dos gráficos de resistência ao rasgo das amostras irradiadas no irradiador 2 na direção das fibras.

Irradiador 2	DIREÇÃO
III	$y = -0,5712x + 94,527$
V	$y = -1,5903x + 97,495$

A figura 4 e a tabela 4 mostram o gráfico de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 2 transversalmente à direção das fibras e as respectivas equações lineares.

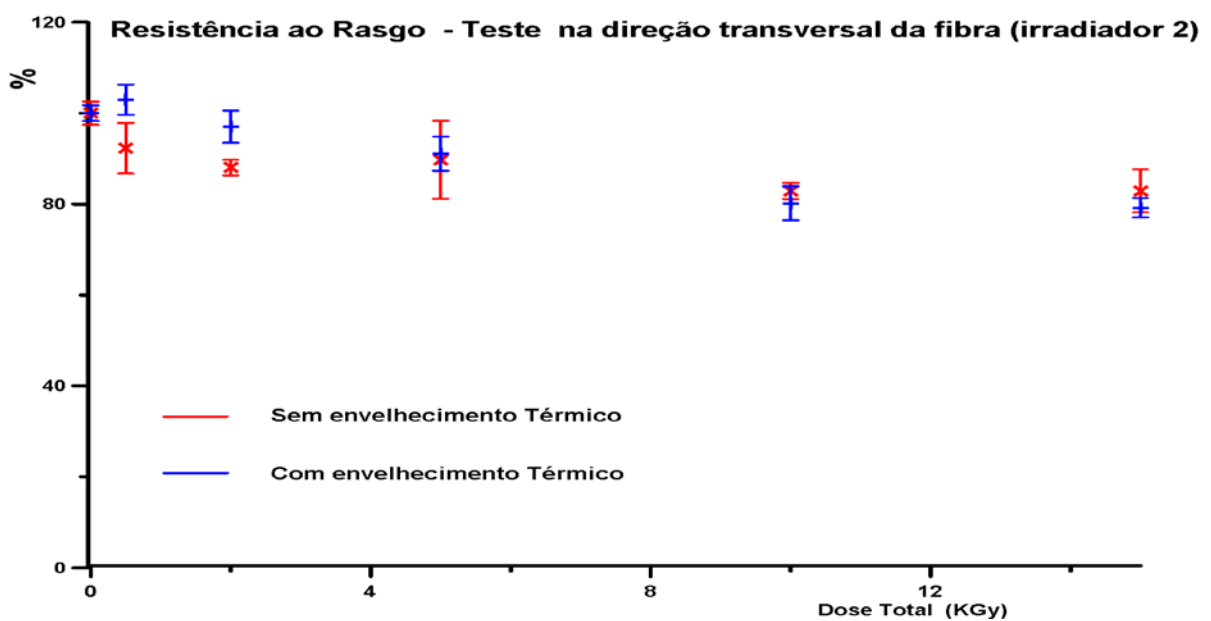


Figura 4.4 – Resultado de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 2 transversalmente à direção das fibras.

Tabela 4.4 – Equações lineares de resistência ao rasgo das amostras tratadas no irradiador 2 transversalmente à direção das fibras.

Irradiador 2	TRANSVERSAL
III	$y = -0,8935x + 94,152$
V	$y = -1,6316x + 100,58$

Tanto nas amostras irradiadas no Irradiador 1 quanto nas amostras irradiadas no Irradiador 2, pode-se afirmar que o envelhecimento térmico seco contribui para uma perda mais acentuada de resistência mecânica da amostra uma vez que o coeficiente angular das amostras é em todos os casos, pelo menos 50% mais acentuado do que o das amostras que não foram submetidas a ETS.

Em seguida foi feita a comparação entre amostras que não foram submetidas à irradiação gama, sendo a amostra não tratada (I) considerada como valor de referência conforme a tabela 5.

Tabela 4.5 – Comparação entre os resultados percentuais de resistência ao rasgo das amostras que não foram submetidas à irradiação. Onde: I - amostra sem qualquer tipo de tratamento; II – amostra submetida à radiação UV; IV - amostra submetida a ETS.

	Direção (%)	Transversal (%)
I	100,0	100,0
II	97,0	98,3
IV	89,1	86,3

A redução percentual da resistência ao rasgo deixa evidente o efeito deletério do ETS, demonstrando ser este mais prejudicial à resistência mecânica do que a irradiação UV.

As tabelas 6 e 7 mostram os resultados das análises estatísticas realizadas por meio do teste “t” de Student quando se comparam os efeitos dos diferentes tratamentos a que as amostras foram submetidas nos dois irradiadores. Os resultados estatísticos são indicados por R (relevante) ou NR (não relevante). Cada tabela mostra os resultados tanto na direção das fibras quanto transversalmente a estas sendo estes dois resultados separados por uma fileira diagonal de asteriscos.

Tabela 4.6 – Amostras de papel submetidas à irradiação no Irradiador 1. Controle I. Tratamento III – irradiação gama. Tratamento IV – ETS. Tratamento V – irradiação seguida de ETS.

Tratamento						
Tratamento	I		III	IV	V	Direção
	I	*	R	R	R	
	III	R	*	R	R	
	IV	R	R	*	R	
	V	R	R	R	*	
Transversal						

Tabela 4.7 – Amostras de papel submetidas à irradiação no Irradiador 2. Controle I. Tratamento III – irradiação gama. Tratamento IV – ETS. Tratamento V – irradiação seguida de ETS.

Segunda: Tratamento IV		E1B: Tratamento V		Iniciativa Segunda de E1B:			
Tratamento							
		I		III	IV	V	
Tratamento		I	*	R	R	R	Direção
		III	R	*	R	R	
		IV	R	R	*	R	
		V	R	R	R	*	
Transversal							

Os resultados mostrados nas tabelas 6 e 7 demonstram que a irradiação gama (III), o ETS (IV) ou a combinação destes dois tratamentos (V), resultam em uma redução da resistência mecânica. A redução, no entanto, mostrou-se mais severa no tratamento V e, dessa maneira, pode-se ordenar os tratamentos em graus de severidade, sendo o tratamento III o menos severo e o V o mais severo.

Quando comparados os resultados do Irradiador 1 frente aos mesmos resultados do Irradiador 2, não foram encontradas diferenças significativas entre os ensaios, excetuando-se os resultados para resistência ao rasgo no sentido transversal de amostras submetidas ao tratamento III. Contudo, admite-se que este único resultado diferenciado seja consequência de variações do próprio método.

Os resultados obtidos no ensaio de resistência ao rasgo, ABNT NBR NM ISO 1974:2001, realizado em equipamento Elmendorf, modelo EF-124, podem ser consultados na íntegra no Anexo 2.

4.1.2 Resistência às dobras duplas

No laudo emitido pelo IPT, constante do Anexo 1, é possível encontrar os valores absolutos das medidas e seus respectivos erros para amostras submetidas às cinco condições de análise previstas no item 3.1. Para um melhor tratamento dos dados, os valores absolutos foram convertidos em valores percentuais, a partir dos quais foi possível realizar comparações.

Assim, analisou-se os resultados de resistência a dobras duplas das amostras expostas à radiação gama no irradiador 1 e no irradiador 2. Sem ETS (III) e com ETS (V). Na direção das fibras e transversalmente a estas.

A figura 5 e a tabela 8 mostram o gráfico de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 1 na direção das fibras e as respectivas equações lineares.

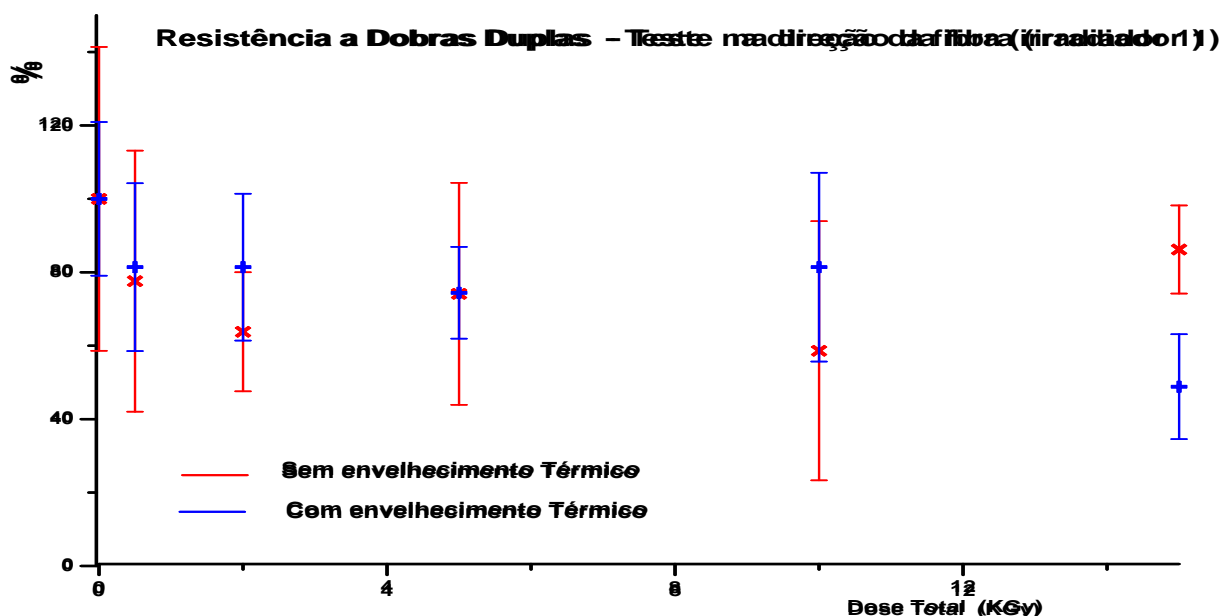


Figura 4.5 – Resultado de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 1 na direção das fibras.

Tabela 4.8 – Equações lineares dos gráficos de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 1 na direção das fibras.

Irradiador 1	DIREÇÃO
III	$y = -0,4329x + 79,069$
V	$y = -2,300x + 90,365$

A figura 6 e a tabela 9 mostram o gráfico de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 1 transversalmente a direção das fibras e as respectivas equações lineares.

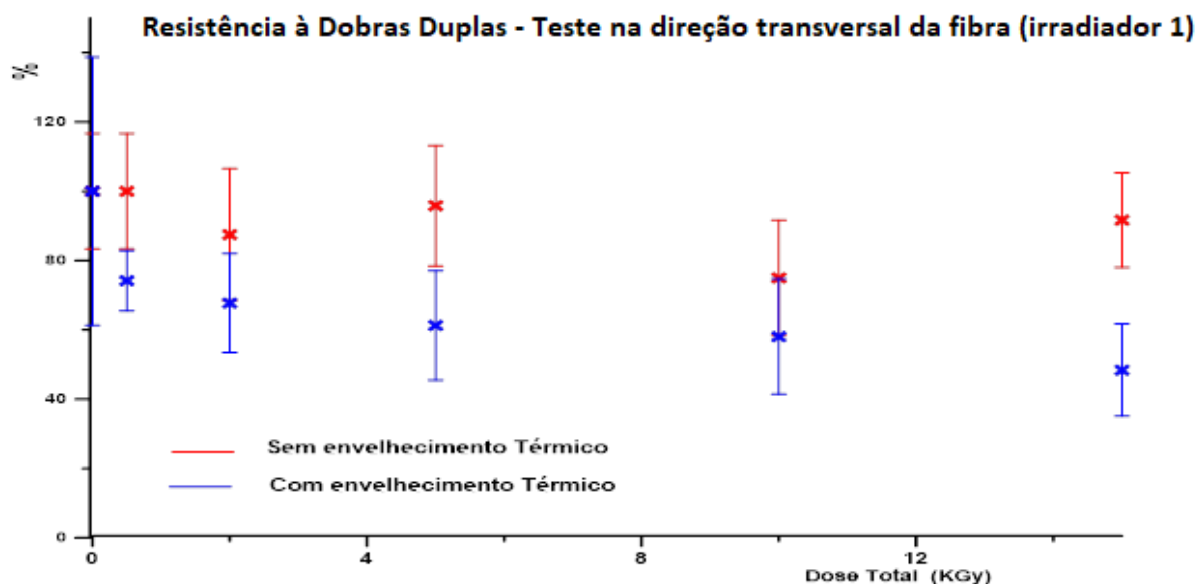


Figura 4.6 – Resultado de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 1 transversalmente a direção das fibras.

Tabela 4.9 – Equações lineares dos gráficos de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 1 transversalmente a direção das fibras.

Irradiador 1	TRANSVERSAL
III	$y = -0,8417x + 96,226$
V	$y = -2,4331x + 81,459$

A figura 7 e a tabela 10 mostram o gráfico de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 2 na direção das fibras e as respectivas equações lineares.

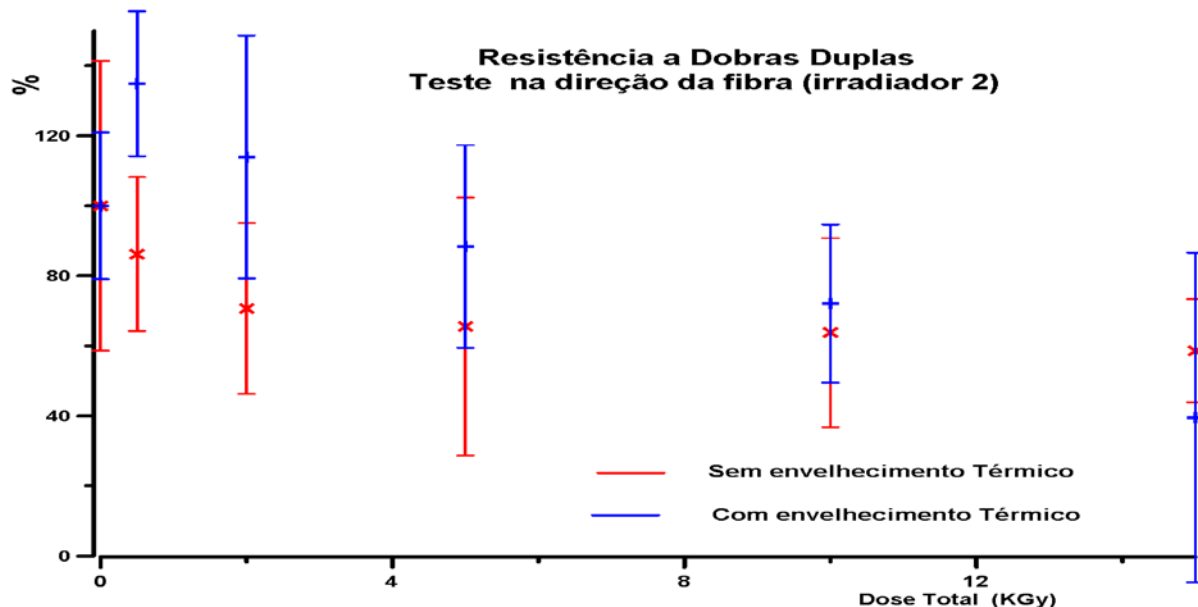


Figura 4.7 – Resultado de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 2 na direção das fibras.

Tabela 4.10 – Equações lineares dos gráficos de resistência às dobras duplas das amostras irradiadas no irradiador 2 na direção das fibras.

Irradiador 2	DIREÇÃO
III	$y = -2,1333x + 85,693$
V	$y = -5,1721x + 119,49$

A figura 8 e a tabela 11 mostram o gráfico de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 2 transversalmente a direção das fibras e as respectivas equações lineares.

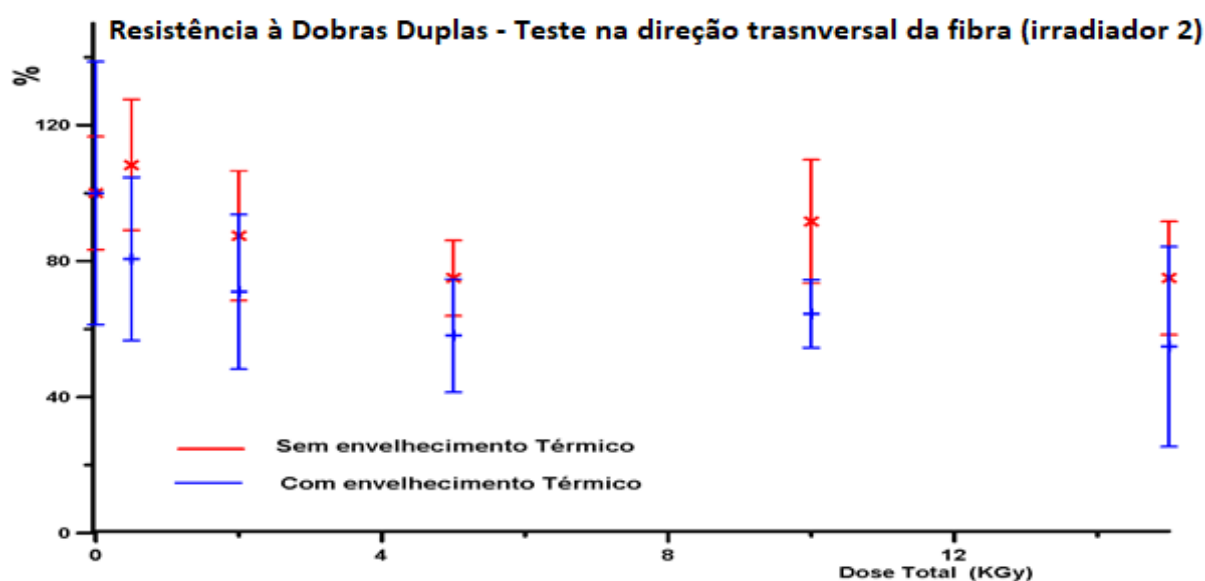


Figura 4.8 – Resultado de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 2 transversalmente a direção das fibras.

Tabela 4.11 – Equações lineares dos gráficos de resistência às dobras duplas das amostras tratadas no irradiador 2 transversalmente a direção das fibras.

Irradiador 2	TRANSVERSAL
III	$y = -1,4905x + 97,657$
V	$y = -2,1525x + 83,165$

Tanto nas amostras irradiadas no Irradiador 1 quanto nas amostras irradiadas no Irradiador 2, pode-se afirmar que o envelhecimento térmico seco contribui para uma perda mais acentuada de resistência mecânica da amostra uma vez que o coeficiente angular das amostras é em todos os casos, pelo menos 50% mais acentuado do que o das amostras que não foram submetidas a ETS.

Em seguida foi feita a comparação entre amostras que não foram submetidas à irradiação gama, sendo a amostra não tratada (I) considerada como valor de referência conforme a tabela 12.

Tabela 4.12 – Comparação entre os resultados percentuais de resistência ao rasgo das amostras que não foram submetidas à irradiação. Onde: I - amostra sem qualquer tipo de tratamento; II – amostra submetida à radiação UV; IV - amostra submetida a ETS.

	Direção (%)	Transversal (%)
I	100,0	100,0
II	63,8	95,8
IV	74,1	129,2*

* resultado se mostra anômalo e incompatível com a tendência demonstrada em outras análises, devendo ser desconsiderado.

Neste caso a análise se mostra prejudicada uma vez que o resultado anômalo do tratamento V na amostra cortada transversalmente às fibras é incompatível com a tendência demonstrada por outras análises. Contudo, é possível observar uma inversão no grau de severidade do tratamento uma vez que na análise das amostras cortadas na direção das fibras o efeito deletério do ETS é menos prejudicial à resistência mecânica do que a irradiação UV.

As tabelas 13 e 14 mostram os resultados das análises estatísticas realizadas por meio do teste “t” de Student quando se comparam os efeitos dos diferentes tratamentos a que as amostras foram submetidas nos dois irradiadores. Os resultados estatísticos são indicados por R (relevante) ou NR (não relevante). Cada tabela mostra os resultados tanto na direção das fibras quanto transversalmente a estas sendo estes dois resultados separados por uma fileira diagonal de asteriscos.

Tabela 4.13 – Amostras de papel submetidas à irradiação no Irradiador 1. Controle I. Tratamento III – irradiação gama. Tratamento IV – ETS. Tratamento V – irradiação seguida de ETS.

Tratamento						
		I	III	IV	V	Direção
Tratamento	I	*	R	R	R	
	III	R	*	R	NR	
	IV	R	R	*	R	
	V	R	NR	R	*	
Transversal						

Tabela 4.14 – Amostras de papel submetidas à irradiação no Irradiador 2. Controle I. Tratamento III – irradiação gama. Tratamento IV – ETS. Tratamento V – irradiação seguida de ETS.

Segunda: Tratamento IV		EFS: Tratamento V		Irradiação segunda de EFS:			
Tratamento							
		I		III	IV	V	
Tratamento	I	*		R	R	R	Direção
	III	R		*	R	NR	
	IV	R		R	*	R	
	V	R		NR	R	*	
	Transversal						

Os resultados mostrados nas tabelas 13 e 14 demonstram que a irradiação gama (III), o ETS (IV) ou a combinação destes dois tratamentos (V), resultam em uma redução da resistência mecânica. A redução, no entanto, mostrou-se mais severa no tratamento V e, dessa maneira, pode-se ordenar os tratamentos em graus de severidade, sendo o tratamento III o menos severo e o V o mais severo.

Os resultados que rejeitam a hipótese nula, ou seja, que demonstram não haver diferença estatisticamente relevante na comparação entre os tratamentos, são isolados e não coloca em dúvida a tendência demonstrada pelas demais análises e comparações.

Quando comparados os resultados do Irradiador 1 frente aos mesmos resultados do Irradiador 2, não foram encontradas diferenças significativas entre os ensaios.

Os resultados obtidos no ensaio de resistência a dobras duplas ABNT NBR 5336:2002, realizado em equipamento M.I.T., modelo EF-147, podem ser consultados na íntegra no Anexo 3.

4.2 MEDIDAS DE ALTERAÇÃO CROMÁTICA

As medidas de alteração cromática em papel foram divididas em dois grupos: amostras irradiadas e não irradiadas, que não foram submetidas a ETS; e amostras irradiadas e não irradiadas, que foram submetidas a ETS.

As amostras analisadas foram irradiadas apenas no irradiador 1 (COPPE / UFRJ) obtendo-se a partir do escaneamento dessas amostras e subsequente tratamento no programa Image J, os espectros para cada uma das cores.

Procedeu-se a composição gráfica para cada uma das cores, tal como descrito no item 3.7, onde a ordenada mostra a intensidade de contraste relativo, e a abscissa mostra a dose total a que a amostra foi submetida. A figura 9 mostra o gráfico para a cor amarela e a tabela 15 informa as equações lineares de cada banda.

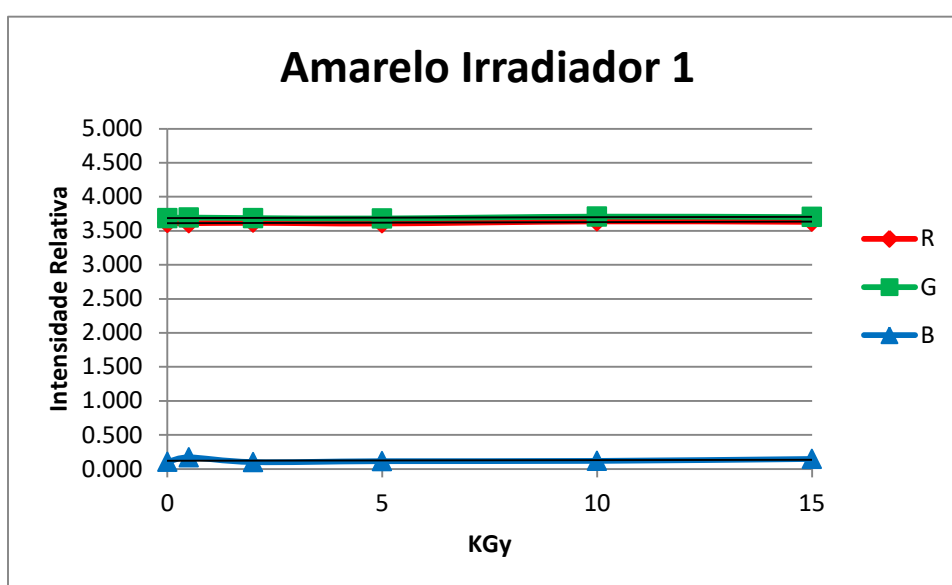


Figura 4.9 – Gráfico obtido para a cor amarela (sem ETS).

Tabela 4.15 – Equações lineares de cada banda da cor amarela (sem ETS).

COR	R	G	B
AMARELO	$y = 0,0016x + 3,611$	$y = 0,0011x + 3,6871$	$y = 0,0009x + 0,1205$

A figura 10 mostra o gráfico para a cor branca e a tabela 16 informa as equações lineares de cada banda.

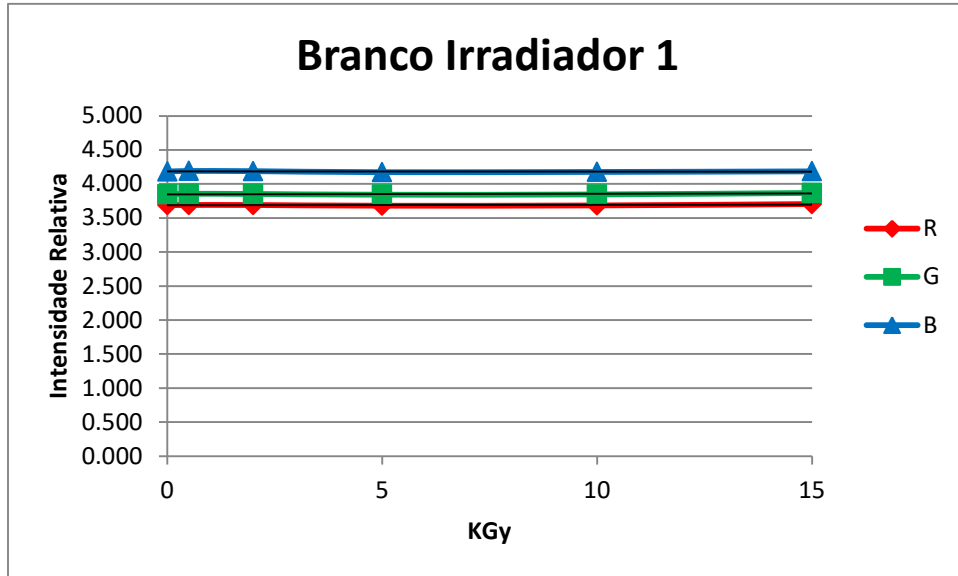


Figura 4.10 – Gráfico obtido para a cor branco (sem ETS).

Tabela 4.16 – Equações lineares de cada banda da cor branca (sem ETS).

COR	R	G	B
BRANCO	$y = 0,0007x + 3,6861$	$y = 0,0007x + 3,8485$	$y = -0,0003x + 4,1844$

A figura 11 mostra o gráfico para a cor ciano e a tabela 17 informa as equações lineares de cada banda.

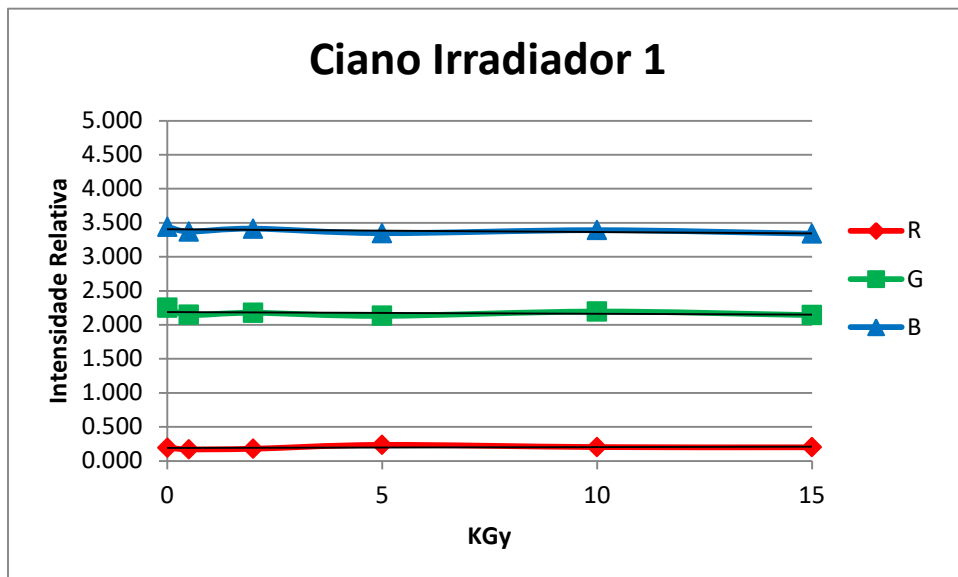


Figura 4.11 – Gráfico obtido para a cor ciano (sem ETS).

Figura 4.17 – Equações lineares de cada banda da cor ciano (sem ETS).

COR	R	G	B
CIANO	$y = 0,0014x + 0,189$	$y = -0,0026x + 2,1878$	$y = -0,004x + 3,4064$

A figura 12 mostra o gráfico para a cor magenta e a tabela 18 informa as equações lineares de cada banda.

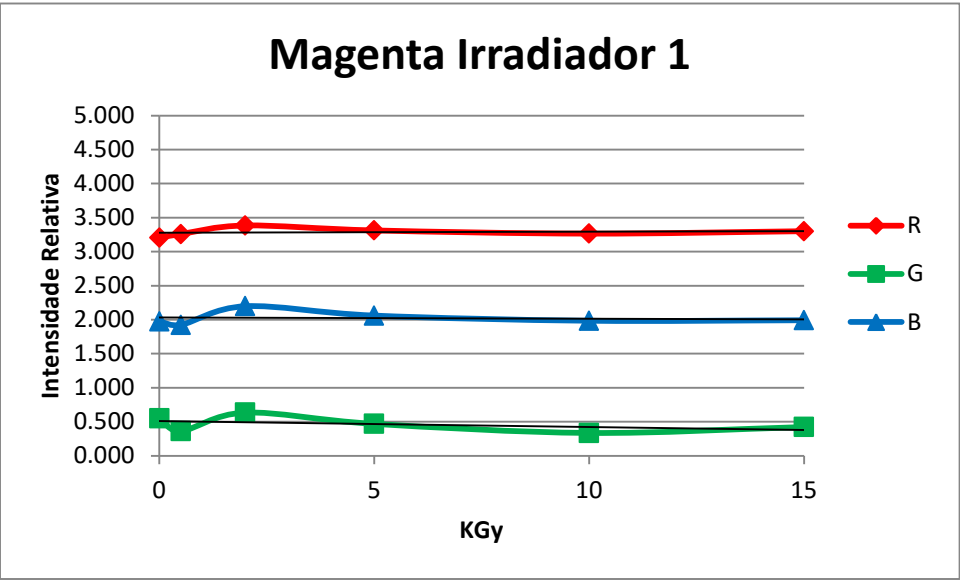


Figura 4.12 – Gráfico obtido para a cor magenta (sem ETS).

Tabela 4.18 – Equações lineares de cada banda da cor magenta (sem ETS).

COR	R	G	B
MAGENTA	$y = 0,0015x + 3,2803$	$y = -0,0087x + 0,5094$	$y = -0,0019x + 2,0323$

A figura 13 mostra o gráfico para a cor preta e a tabela 19 informa as equações lineares de cada banda.

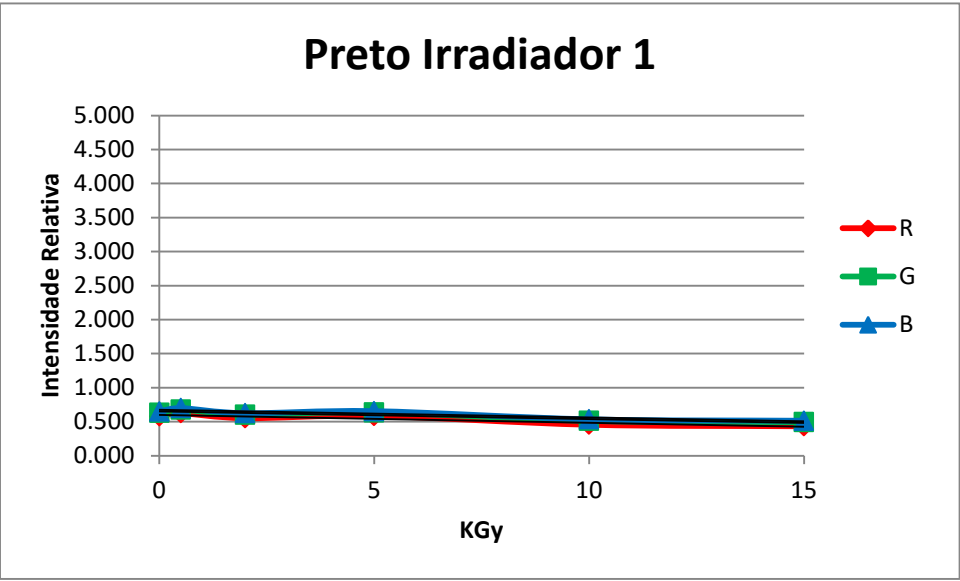


Figura 4.13 – Gráfico obtido para a cor preta (sem ETS).

Tabela 4.19 – Equações lineares de cada banda da cor preta (sem ETS).

COR	R	G	B
PRETO	$y = -0,0118x + 0,6014$	$y = -0,0112x + 0,6518$	$y = -0,0112x + 0,6736$

A figura 14 mostra o gráfico para a cor amarela irradiada e submetida a ETS, e a tabela 20 informa as equações lineares de cada banda.

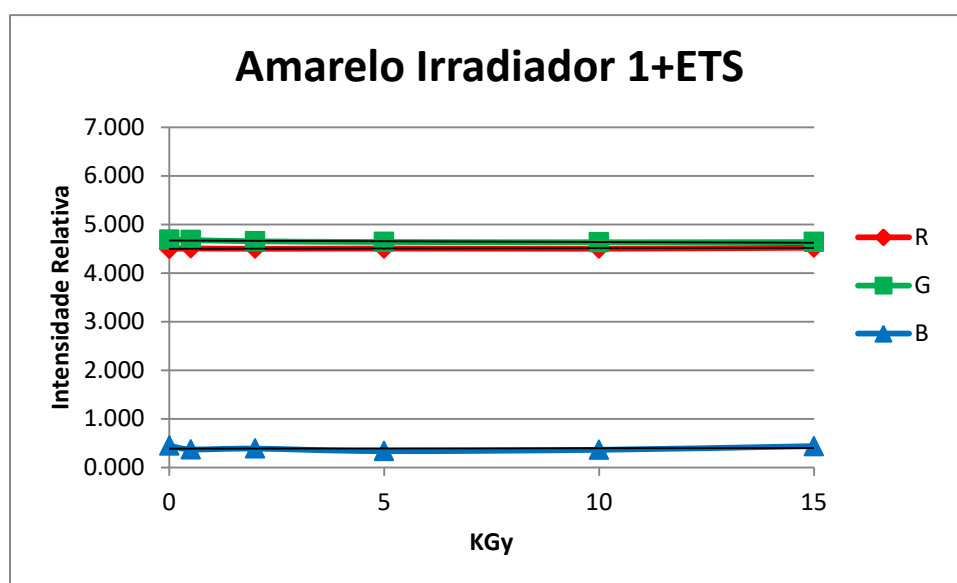


Figura 4.14 – Gráfico obtido para a cor amarela (com ETS).

Tabela 4.20 – Equações lineares de cada banda da cor amarela (com ETS).

COR	R	G	B
AMARELO	$y = 0,0011x + 4,4972$	$y = -0,003x + 4,6693$	$y = 0,0008x + 0,3844$

A figura 15 mostra o gráfico para a cor branca irradiada e submetida a ETS, e a tabela 21 informa as equações lineares de cada banda.

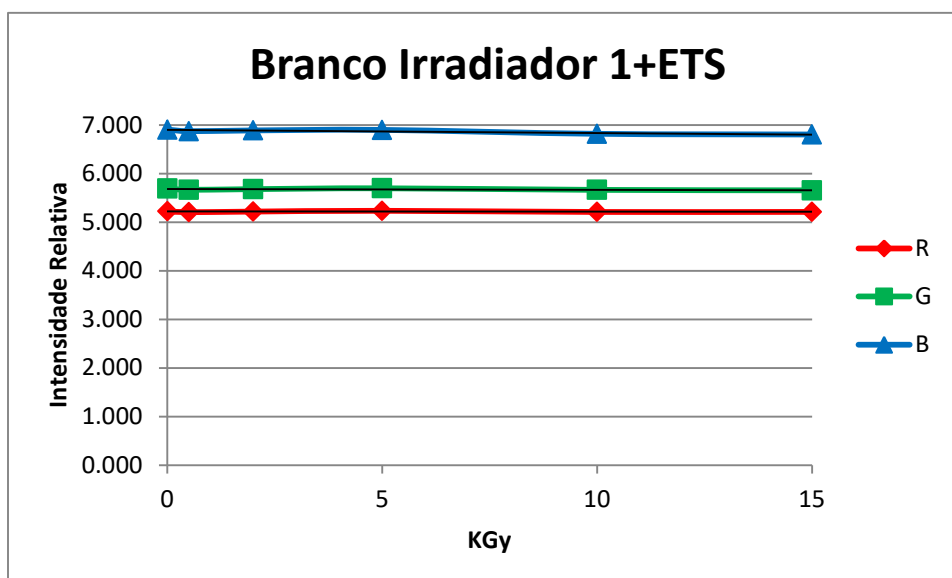


Figura 4.15 – Gráfico obtido para a cor branca (com ETS).

Tabela 4.21 – Equações lineares de cada banda da cor branca (com ETS).

COR	R	G	B
BRANCO	$y = -0,0004x + 5,2186$	$y = -0,0017x + 5,684$	$y = -0,0064x + 6,8984$

A figura 16 mostra o gráfico para a cor ciano irradiada e submetida a ETS, e a tabela 22 informa as equações lineares de cada banda.

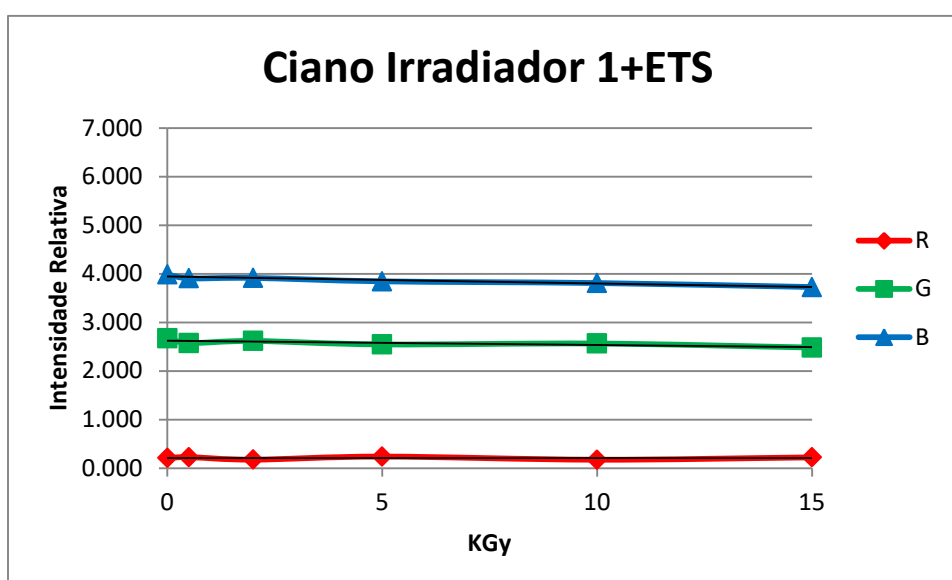


Figura 4.16 – Gráfico obtido para a cor ciano (com ETS).

Tabela 4.22 – Equações lineares de cada banda da cor ciano (com ETS).

COR	R	G	B
CIANO	$y = -0,0002x + 0,2082$	$y = -0,0089x + 2,6244$	$y = -0,0146x + 3,9431$

A figura 17 mostra o gráfico para a cor magenta irradiada e submetida a ETS, e a tabela 23 informa as equações lineares de cada banda.

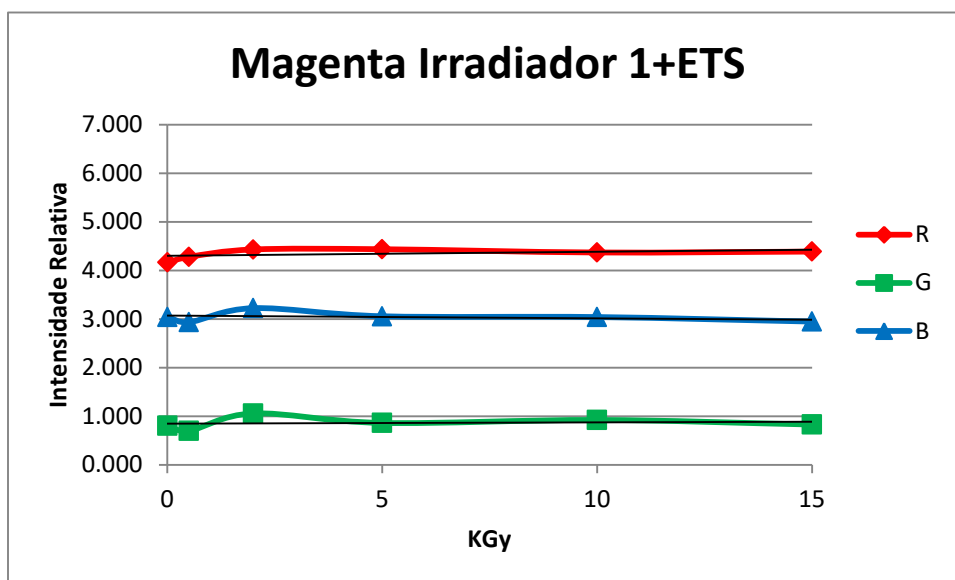


Figura 4.17 – Gráfico obtido para a cor magenta (com ETS).

Tabela 4.23 – Equações lineares de cada banda da cor magenta (com ETS).

COR	R	G	B
MAGENTA	$y = 0,0084x + 4,2978$	$y = 0,0023x + 0,8482$	$y = -0,0057x + 3,0712$

A figura 18 mostra o gráfico para a cor preta irradiada e submetida a ETS, e a tabela 24 informa as equações lineares de cada banda.

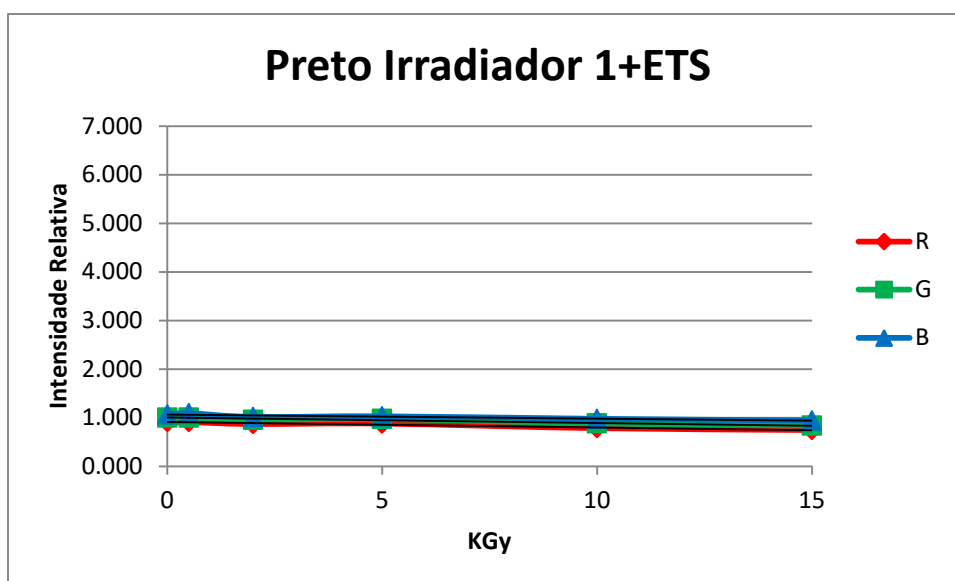


Figura 4.18 – Gráfico obtido para a cor preta (com ETS).

Tabela 4.24 – Equações lineares de cada banda da cor preta (com ETS).

COR	R	G	B
PRETO	$y = -0,0111x + 0,9084$	$y = -0,011x + 1,0006$	$y = -0,0086x + 1,0657$

Os resultados das amostras testadas, com coeficientes angulares próximos de zero, mostram que a irradiação gama isoladamente não é capaz de causar dano significativo em nenhuma das amostras. Uma alteração um pouco maior na amostra colorida na cor preta indica uma maior perda de contraste tanto na amostra submetida a ETS quanto na amostra que não foi submetida a ETS, contudo, essa alteração ainda pode ser considerada marginal.

Os resultados da Tabela 25 abaixo mostram a diferença porcentual das intensidades de contraste relativo entre as amostras não irradiadas: sem qualquer tipo de tratamento (I); e submetidas a ETS (III). E demonstram que o envelhecimento térmico seco é capaz de causar alterações severas no contraste. É de se notar a diferença de 329,47% na banda azul das amostras amarelas, e a diferença de 65,11% na banda azul das amostras brancas. Essa alteração indica a ocorrência de cromóforos no papel que absorvem na faixa mais alta do espectro visível sendo responsável pela coloração amarelada das amostras envelhecidas.

Tabela 4.25 – Comparação entre os valores de intensidade de contraste relativo entre amostras não irradiadas.

	R	G	B
AMARELO			
I	3,613	3,687	0,104
III	4,494	4,682	0,447
<i>diferença</i>	24,39%	26,99%	329,47%
BRANCO			
I	3,688	3,848	4,182
III	5,222	5,689	6,904
<i>diferença</i>	41,62%	47,83%	65,11%
CIANO			
I	0,193	2,249	3,442
III	0,210	2,672	3,985
<i>diferença</i>	8,64%	18,77%	15,77%
MAGENTA			
I	3,207	0,551	1,974
III	4,162	0,802	3,043
<i>diferença</i>	29,77%	45,55%	54,18%

	R	G	B
PRETO			
I	0,580	0,629	0,651
III	0,906	0,999	1,064
diferença	56,35%	58,82%	63,51%

4.3 CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DA TAXA DE DOSE PELO CÓDIGO MCNPX

Foram analisados os resultados das simulações em MCNPX para o Irradiador 1 com fonte de ^{60}Co e para o Irradiador 2 com fonte de ^{137}Cs .

4.3.1 Modelagem simplificada do Irradiador 1 - UFRJ / COPPE

A saída do MCNP informa a dose absorvida no meio material (D_m):

- i. Dose média normalizada por história = $5,408 \times 10^{-3} \text{ Gy.s}^{-1}$
- ii. Incerteza relativa estimada: $\pm 0,0026$

O valor de incerteza relativa é significativo frente à contagem média normalizada indicando que a geometria proposta apresenta oportunidade de melhorias. Ainda assim, a partir dos dados obtidos, é possível calcular o fator de conversão (f).

Equação 3.7

$$D_{ar} = 0,83 \text{ KGy.h}^{-1} = 0,2306 \text{ Gy.s}^{-1}$$

$$f = \frac{D_m}{D_{ar}}$$

$$f = \frac{5,408 \times 10^{-3}}{0,2306} = 2,345 \times 10^{-2}$$

Também é possível calcular o coeficiente de absorção de energia em massa $(\mu_{en}/\rho)_m$ do papel para a energia de 1,17 MeV característica do ^{60}Co . Para isso foi necessário

primeiramente calcular o valor de $(\mu_{en}/\rho)_{ar}$ do ar utilizando o método dos mínimos quadrados a partir das tabelas do NIST [NIST, 1989] e obtendo o valor de $2,704 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$

Equação 3.8

$$f = \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_m}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{ar}}$$

$$2,345 \times 10^{-2} = \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_m}{2,704 \times 10^{-2}}$$

$$\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_m = 6,341 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$$

4.3.2 Modelagem simplificada do Irradiador 2 - EB / IDQBRN

A saída do MCNP informa a dose absorvida no meio material (D_m):

- i. Dose média normalizada por história = $0,7611 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$
- ii. Incerteza relativa estimada: $\pm 0,0010$

O pequeno valor de incerteza relativa indica que a geometria proposta é coerente. Assim, a partir dos dados obtidos é possível calcular o fator de conversão (f).

Equação 3.9

$$D_{ar} = 1,446 \text{ KGy} \cdot \text{h}^{-1} = 0,4017 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$f = \frac{D_m}{D_{ar}}$$

$$f = \frac{0,4017}{0,7611} = 0,5277$$

Também é possível calcular o coeficiente de absorção de energia em massa $(\mu_{en}/\rho)_m$ do papel para a energia de 0,662 MeV característica do ^{137}Cs . Para isso foi necessário primeiramente calcular o valor de $(\mu_{en}/\rho)_{ar}$ do ar utilizando o método dos mínimos quadrados a partir das tabelas do NIST [NIST, 1989] e obtendo o valor de $2,931 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$

Equação 3.10

$$f = \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_m}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{ar}}$$

$$0,5277 = \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_m}{2,931 \times 10^{-2}}$$

$$\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_m = 1,547 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$$

Capítulo 5

CONCLUSÃO

A partir dos resultados mostrados, pode-se inferir que a irradiação gama e o envelhecimento térmico seco, ou a combinação desses dois tratamentos, tiveram como consequência a redução da resistência mecânica do papel testado. No entanto, o dano ocasionado pelo ETS é muito maior do que aquele induzido pela radiação gama. Dessa maneira, é possível ordenar os tratamentos em graus de severidade, sendo o tratamento III (irradiação gama) o menos severo e o tratamento V (irradiação gama seguida de ETS) o mais severo.

As amostras submetidas à irradiação UV também sofrem dano, porém não é possível determinar o grau de severidade deste tratamento uma vez que as amostras submetidas ao ensaio de resistência ao rasgo demonstraram menor fragilização quando submetidas à irradiação UV do que quando submetidas a ETS, enquanto que as amostras submetidas ao ensaio de resistência a dobras duplas apresentam resultado inverso.

Uma redução na resistência às dobras de um papel, pode ser interpretada como uma cisão da cadeia polimérica ou despolimerização da celulose, o que leva à fragilização por perda de resistência à tração.

Tanto as amostras de controle (I) quanto as amostras irradiadas (III) sofreram dano comparável quando submetidas a ETS. Tal resultado sugere que não há efeito sinérgico entre a irradiação gama e o ETS.

Em todos os casos houve diferença estatisticamente relevante na redução da resistência mecânica causada por irradiação gama e também por ETS ou combinação de ambos. Ao analisar os dados de resistência às dobras duplas, não houve diferença significativa nas amostras submetidas à irradiação gama quando comparadas as amostras submetidas à irradiação seguida de ETS. Esses resultados, no entanto, são isolados e não coloca em dúvida a tendência demonstrada pelas demais análises e comparações.

Em todos os casos não foi observada diferença estatisticamente relevante na redução da resistência mecânica quando comparadas às amostras submetidas à irradiação no Irradiador 1 com as do Irradiador 2. Tal resultado difere do encontrado no trabalho de Magauda (2004) onde o autor propõe que quanto maior for a atividade da fonte menor será o dano causado ao substrato, uma vez que quanto maior o período de exposição maior a probabilidade de interação da radiação com o oxigênio, levando a danos indiretos.

Os resultados demonstram que a irradiação gama isoladamente não é capaz de causar dano significativo às tintas de impressão. Já o ETS é capaz de causar alterações severas no contraste induzindo a formação de cromóforos no papel que absorvem na faixa mais alta do espectro visível sendo responsável pela coloração amarelada das amostras envelhecidas.

Os dados coletados na simulação por MCNPX são suficientes para proceder a novas irradiações de material cujo principal substrato seja o papel nas instalações do Irradiador 2 do IDQBRN / EB. Contudo, é necessário aprimorar os parâmetros geométricos do Irradiador 1 da COPPE / UFRJ com o objetivo de calcular com maior exatidão a dose absorvida pelo material.

O trabalho demonstra que a irradiação gama de bens culturais em papel pode ser feita dentro das doses necessárias para eliminação de insetos (0,5 KGy) e da maioria das espécies fúngicas (10 KGy) sem que haja dano significativo à estrutura polimérica da celulose ou perda de contraste nas tintas de impressão modernas.

Assim, abrem-se oportunidades para a ampliação dos estudos de conservação com a possibilidade de pesquisa da dose segura para desinfecção de outros materiais tais como: couro, madeira, têxteis, estruturas queratinizadas e tintas de origem animal ou vegetal.

Outras sugestões de trabalhos futuros são: a avaliação da irradiação com exclusão de oxigênio; e o estudo de um possível efeito sinérgico entre irradiação UV e irradiação gama.

Capítulo 6

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Papel e cartão – Envelhecimento acelerado – Tratamento com calor seco a 105°C. **NBR14915** (2002)

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Papel para escrever e determinados tipos de impressos – Formatos acabados – Séries A e B e indicação da direção de fabricação. **NBR NM ISO 216** (2012)

ADAMO, A. M. MAGAUDDA, G. G. ZAPPALA, M. P. ROCHETTI, F. ROSSI, G. Effect of gamma rays on pure cellulose paper. **Restaurator**, Vol. 19 (1998), p. 41-59

ARAÚJO JR., L. M. Simulação aperfeiçoada do ambiente gama não perturbado do irradiador gama do CTEx com o código MCNPX. **Dissertação de Mestrado**, IME (2014)

BARROS, R. S. Perspectivas do emprego da irradiação de alimentos no Exército Brasileiro **Trabalho de Conclusão de Curso**, EsAEx (2010)

BARROS NETO, B. SCARMINIO, I. S. BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2º Ed – Editora da Unicamp (2003)

BUTTERFIELD, F. J. The potential long-term effects of gamma irradiation on paper. **Studies in Conservation**, Vol. 32, nº 4 (1987), p. 181-191

CONCEIÇÃO, C. C. S. Implementação de dosimetria química de altas doses para irradiadores industriais. **Tese de Doutorado**, COPPE/UFRJ (2006)

CONTE, A. M. PULCI, O. MISITI, M. C. LOJEWSKA, J. TEODONIO, L. VIOLANTE, C. MISSORI, M. Visual degradation in Leonardo da Vinci's iconic self portrait: a nanoscale study. **Applied Physics Letters**, Vol. 104, 224101 (2014)

IPEN/CNEN, **Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares**. Disponível em: https://intranet.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=676 Acesso: 05-JAN-2017

ISO, International Organization for Standardization. Paper – Determination of folding endurance. **5626** (1993)

JUE, E. K. BUSCHEY, M. The characterization of three UV-inhibiting fixatives used for works of art on paper. **New York University**, Institute of Fine Arts, Conservation Center (2007)

MAGAUDDA, G. The recovery of biodeteriorated books and archive documents through gamma radiation: some considerations on the results achieved. **Journal of Cultural Heritage**, Vol. 5 (2004), p. 113-118

MANUELA DA SILVA, A. MORAES, M. L. NISHIKAWA, M. M. GATTI, M. J. A. VALLIM DE ALENCAR, M. A. BRANDÃO, L. E. NOBREGA, A. Inactivation of fungi from deteriorated paper materials by radiation. **International Biodeterioration & Biodegradation** 57 (2006), p. 163-167

NASA, National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center. **Imagine the Universe**. Disponível em: https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/spectrum_chart.html Acesso: 14-JUL-2017

New University of Lisbon, Department of Conservation and Restoration. Biodegradation of cultural heritage: decay mechanisms and control methods. **Seminar article** (2002)

NIST, National Institute of Standards and Technology. **X-Ray Mass Attenuation Coefficients**. Disponível em: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ComTab/air.html> Acesso: 23-JUL-2017

PORCK, H. J. **Mass Deacidification. An Update of Possibilities and Limitations**. European Commission on Preservation and Access, Amsterdam (1996)

PORCK, H. J. **Rate of Paper Degradation - The Predictive Value of Artificial Aging Tests** European Commission on Preservation and Access, Amsterdam (2000)

PORCK, H. J. TEYGELER, R. **Preservation Science Survey: An Overview of Recent Developments in Research on the Conservation of Selected Analog Library and Archival Materials**. European Commission on Preservation and Access (2000)

RASO, J. PALOP, A. PAGAN, R. CONDON, S. Inactivation of *Bacillus subtilis* spores by combining ultrasonic waves under pressure and mild heat treatment. **Journal of Applied Microbiology**, 85 (1998), p. 849-854

RODRIGUES, R.R., et al. **Retrieval of GammaCell 220 Irradiator Isodose Curves with MCNP Simulations and Experimental Measurements** (2010)

RUSIN, T. REBELLO, W. S. VITAL, H. C. VELLOZO, S. O. SILVA, A. X. GOMES, R. G. MCNPX calculations of dose rate distributions inside samples treated in the research gamma irradiating facility at CTEEx. 2011 **Anais** International Nuclear Atomic Conference – INAC 2011

STRÖFER E. Experimental Measurement: Interpreting Extrapolation and Prediction by Accelerated Aging. **Restaurator**, Vol. 11 (1990)

TAUHATA, L; SALATI, I. P. A.; PRINZIO, R. Di; PRINZIO, M.A.R.R.Di. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 5º Ver, IRD / CNEN (2003)

TIANO, P. **Biodegradation of cultural heritage: decay mechanisms and control methods**. CNR – Centro di studio sulle (2002)

UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia Cartográfica **Página Dinâmica para Aprendizado do Sensoriamento Remoto**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/> Acesso: 23-JUL-2017

VAN DER MOLEN, JM. GARTY, J. AARDEMA, B.W. KRUMBEIN, W. Growth control of algae and cyanobacteria on historical monuments by a mobile UV unit (MUVU). **Studies in Conservation**, 25, Vol. 2 (1980), p. 71-77.

WAGNER, J. C. PELOW, D. E. MOSHER, S. W. EVANS, T. M. Review of hybrid (Deterministic/Monte Carlo) radiation transport methods, codes, and applications at Oak Ridge National Laboratory. **Progress in Nuclear Science and Technology**, Vol. 2 (2011), p. 808-814

Wikimedia Commons. **Função Probabilidade de Densidade para t de Student mostrando nível de confiança e p-valor para dado t (bicaudal)**. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teste_T_Gr%C3%A1fico_bicaudal.gif Acesso: 24-JUL-2017

ZUFFI, S. Ferrari da Passano: così! ho sfrattato i piccioni dal Duomo di Milano. **Rassegna dei Beni Culturali**, 2 (1988), p. 44-45

Anexo 1

Relatório de ensaio IPT N° 1 084 928 – 203 de 14 de outubro de 2016.

Laboratório de Papel e Celulose / CT-FLORESTA / IPT

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 084 928 - 203

CLIENTE: Anderson Gomes de Jesus
CPF: 051.915.927-60
Rua Helio de Almeida, 75
21941-906 – Rio de Janeiro – RJ

NATUREZA DO TRABALHO: Ensaios em papel

REFERÊNCIA: Orçamento 10047/16

1 MATERIAL

O Cliente enviou a este Instituto, em 23/09/2016, vinte e três amostras de papel que foram designadas por ele e identificadas no IPT como consta na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Designação do material

Designação do Cliente	Código da amostra no IPT
"Branco 0,5 kGy LIN"	LPC 16210.1
"Branco 5,0 kGy + ETS LIN"	LPC 16210.2
"Branco 5,0 kGy LIN"	LPC 16210.3
"Branco 10,0 kGy + ETS LIN"	LPC 16210.4
"Branco 10,0 kGy LIN"	LPC 16210.5
"Branco 0,5 kGy + ETS LIN"	LPC 16210.6
"Branco 2,0 kGy + ETS LIN"	LPC 16210.7
"Branco 15,0 kGy LIN"	LPC 16210.8
"Branco 5,0 kGy IDQBRN"	LPC 16210.9
"Branco 2,0 kGy LIN"	LPC 16210.10
"Branco 15,0 kGy + ETS LIN"	LPC 16210.11
"Branco UV IEN"	LPC 16210.12
"Branco 2,0 kGy IDQBRN"	LPC 16210.13
"Branco Referência"	LPC 16210.14
"Branco ETS IEN"	LPC 16210.15
"Branco 0,5 kGy + ETS IDQBRN"	LPC 16210.16
"Branco 2,0 kGy + ETS IDQBRN"	LPC 16210.17
"Branco 5,0 kGy + ETS IDQBRN"	LPC 16210.18
"Branco 10,0 kGy + ETS IDQBRN"	LPC 16210.19
"Branco 15,0 kGy + ETS IDQBRN"	LPC 16210.20
"Branco 15,0 kGy IDQBRN"	LPC 16210.21
"Branco 10,0 kGy IDQBRN"	LPC 16210.22
"Branco 0,5 kGy IDQBRN"	LPC 16210.23

O Cliente solicitou os ensaios relacionados na **Tabela 2**.

2 MÉTODO UTILIZADO

A **Tabela 2** apresenta os ensaios realizados, os métodos empregados e os seus respectivos códigos no IPT.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Laboratório de Papel e Celulose / CT-FLORESTA / IPT

Tabela 2 – Ensaaios e métodos

Ensaio	Método	Código do método no IPT
Resistência ao rasgo - Elmendorf	ABNT NBR NM ISO 1974:2001	CT-FLORESTA-LPC-PE-010 Rev.7
Resistência a dobras duplas	ABNT NBR 5336:2002	CT-FLORESTA-LPC-PE-087 Rev.6

2.1 Equipamentos utilizados

- Aparelho de Rasgo (Elmendorf) (EF-124) – Certificado de calibração nº 40994/14, emitido pela Mecatécnica Assist. Técnica Manutenção e Comércio Ltda., com validade até março de 2018.
- Equipamento de dobras MIT (EF-047) – Certificado de calibração nº 13 378-101 emitido pelo Laboratório de Metrologia Mecânica do Centro de Metrologia Mecânica, Elétrica e de Fluidos do IPT, com validade até agosto de 2022.

3 RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 3 – Resultados

Amostra	Resistência ao rasgo (mN)		Resistência a dobras duplas	
	Direção de fabricação	Transversal	Direção de fabricação	Transversal
"Branco 0,5 kGy LIN"	469,6 (0,0)	542,6 (18,1)	45 (16)	24 (4)
"Branco 5,0 kGy + ETS LIN"	417,4 (18,1)	459,1 (9,1)	32 (4)	19 (3)
"Branco 5,0 kGy LIN"	464,4 (9,1)	495,7 (9,1)	43 (13)	23 (4)
"Branco 10,0 kGy + ETS LIN"	386,1 (18,1)	443,5 (9,0)	35 (9)	18 (3)
"Branco 10,0 kGy LIN"	480,0 (23,9)	495,7 (9,1)	34 (12)	18 (3)
"Branco 0,5 kGy + ETS LIN"	464,4 (18,1)	495,7 (9,1)	35 (8)	23 (2)
"Branco 2,0 kGy + ETS LIN"	422,6 (15,7)	495,7 (23,9)	35 (7)	21 (3)
"Branco 15,0 kGy LIN"	427,8 (18,1)	474,8 (9,0)	50 (6)	22 (3)
"Branco 5,0 kGy IDQBRN"	480,0 (9,0)	547,9 (47,0)	38 (14)	18 (2)
"Branco 2,0 kGy LIN"	464,4 (23,9)	495,7 (23,9)	37 (6)	21 (4)
"Branco 15,0 kGy + ETS LIN"	354,7 (18,1)	407,0 (15,7)	21 (3)	15 (2)
"Branco UV IEN"	511,3 (36,1)	600,0 (23,9)	37 (13)	23 (3)
"Branco 2,0 kGy IDQBRN"	506,1 (9,0)	537,4 (9,1)	41 (10)	21 (4)
"Branco Referência"	527,0 (9,1)	610,5 (15,7)	58 (24)	24 (4)
"Branco ETS IEN"	469,6 (31,3)	527,0 (9,1)	43 (9)	31 (12)
"Branco 0,5 kGy + ETS IDQBRN"	459,1 (23,9)	542,6 (18,1)	58 (12)	25 (6)
"Branco 2,0 kGy + ETS IDQBRN"	433,0 (23,9)	511,3 (18,1)	49 (17)	22 (5)
"Branco 5,0 kGy + ETS IDQBRN"	401,8 (9,1)	480,0 (18,1)	38 (11)	18 (3)
"Branco 10,0 kGy + ETS IDQBRN"	396,5 (9,1)	422,6 (15,7)	31 (7)	20 (2)
"Branco 15,0 kGy + ETS IDQBRN"	344,3 (0,0)	417,4 (9,0)	17 (8)	17 (5)
"Branco 15,0 kGy IDQBRN"	469,6 (31,3)	506,1 (23,9)	34 (5)	18 (3)
"Branco 10,0 kGy IDQBRN"	443,5 (32,6)	506,1 (9,0)	37 (10)	22 (4)
"Branco 0,5 kGy IDQBRN"	464,4 (9,1)	563,5 (31,3)	50 (11)	26 (5)

[Assinatura]

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Laboratório de Papel e Celulose / CT-FLORESTA / IPT

Nota da Tabela 3: Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão três determinações para o ensaio de resistência ao rasgo e cinco determinações para o ensaio de resistência à dobras duplas.

4 EQUIPE TÉCNICA

Química Doutora Maria Luiza Otero D'Almeida – IPT
Engenheira Química Doutora Patrícia Kaji Yasumura – IPT
Química Caroline Hastenreiter Costa – IPT
Técnico Antônio dos Santos Filho – IPT

São Paulo, 14 de outubro de 2016.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE RECURSOS FLORESTAIS
Laboratório de Papel e Celulose



Química Caroline Hastenreiter Costa
Supervisora de Ensaio
CRQ 04162205 – NRE 8657

CENTRO DE TECNOLOGIA DE RECURSOS FLORESTAIS
Laboratório de Papel e Celulose



Eng. Quím. Dra. Patrícia Kaji Yasumura
Supervisora de ensaio
CREA 5061113813/D – NRE 8462

Anexo 2

Resultados do ensaio de resistência ao rasgo - ABNT NBR NM-ISO 1974 (2001).

				Resistência ao Rasgo (mN)			
	Dose (KGy)	ETS	Local	Direção	erro	Transversal	erro
Branco	UV			511.3	36.1	600.0	23.9
Branco	0.0	N		527.0	9.1	610.5	15.7
Branco	0.0	S		469.6	31.3	527.0	9.1
Branco	0.5	N	LIN	469.9	0.0	542.6	18.1
Branco	2.0	N	LIN	464.4	23.9	495.7	23.9
Branco	5.0	N	LIN	464.4	9.1	495.7	9.1
Branco	10.0	N	LIN	480.0	23.9	495.7	9.1
Branco	15.0	N	LIN	427.8	18.1	474.8	9.0
Branco	0.5	S	LIN	464.4	18.1	495.7	9.1
Branco	2.0	S	LIN	422.6	15.7	495.7	23.9
Branco	5.0	S	LIN	417.4	18.1	459.1	9.1
Branco	10.0	S	LIN	386.1	18.1	443.5	9.0
Branco	15.0	S	LIN	354.7	18.1	407.0	15.7
Branco	0.5	N	IDQBRN	464.4	9.1	563.5	31.3
Branco	2.0	N	IDQBRN	506.1	9.0	537.4	9.1
Branco	5.0	N	IDQBRN	480.0	9.0	547.9	47.0
Branco	10.0	N	IDQBRN	443.5	32.6	506.1	9.0
Branco	15.0	N	IDQBRN	469.6	31.3	506.1	23.9
Branco	0.5	S	IDQBRN	459.1	23.9	542.6	18.1
Branco	2.0	S	IDQBRN	433.0	23.9	511.3	18.1
Branco	5.0	S	IDQBRN	401.8	9.1	480.0	18.1
Branco	10.0	S	IDQBRN	396.5	9.1	422.6	15.7
Branco	15.0	S	IDQBRN	344.3	0.0	417.4	9.0

ETS - envelhecimento térmico seco.

Anexo 3

Resultados do ensaio resistência a dobras duplas - ABNT NBR 5336 (2002).

	Dose (KGy)	ETS	Local	Direção	erro	Tranversal	erro
Branco	UV			37	13	23	3
Branco	0.0	N		58	24	24	4
Branco	0.0	S		43	9	31	2
Branco	0.5	N	LIN	45	16	24	4
Branco	2.0	N	LIN	37	6	21	4
Branco	5.0	N	LIN	43	13	23	4
Branco	10.0	N	LIN	34	12	18	3
Branco	15.0	N	LIN	50	6	22	3
Branco	0.5	S	LIN	35	8	23	2
Branco	2.0	S	LIN	35	7	21	3
Branco	5.0	S	LIN	32	4	19	3
Branco	10.0	S	LIN	35	9	18	3
Branco	15.0	S	LIN	21	3	15	2
Branco	0.5	N	IDQBRN	50	11	26	5
Branco	2.0	N	IDQBRN	41	10	21	4
Branco	5.0	N	IDQBRN	38	14	18	2
Branco	10.0	N	IDQBRN	37	10	22	4
Branco	15.0	N	IDQBRN	34	5	18	3
Branco	0.5	S	IDQBRN	58	12	25	6
Branco	2.0	S	IDQBRN	49	17	22	5
Branco	5.0	S	IDQBRN	38	11	18	3
Branco	10.0	S	IDQBRN	31	7	20	2
Branco	15.0	S	IDQBRN	17	8	17	5

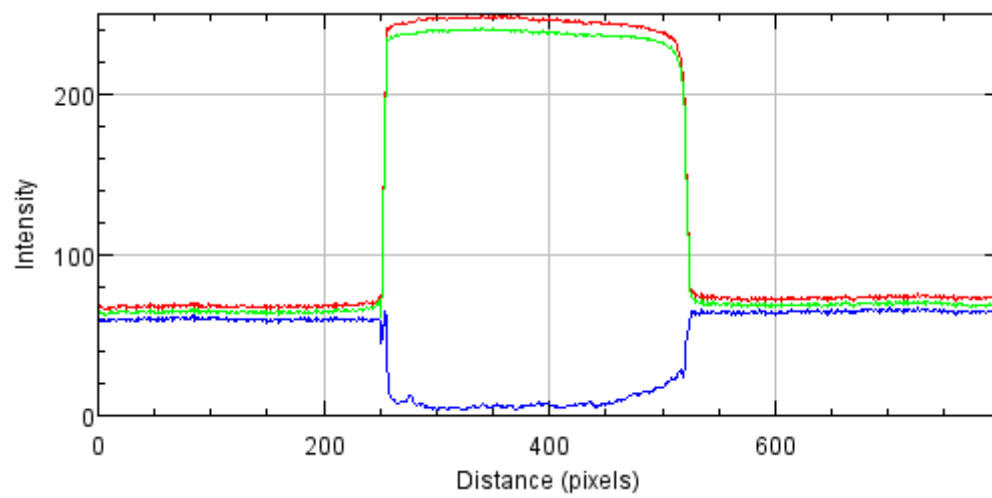
ETS - envelhecimento térmico seco.

Anexo 4

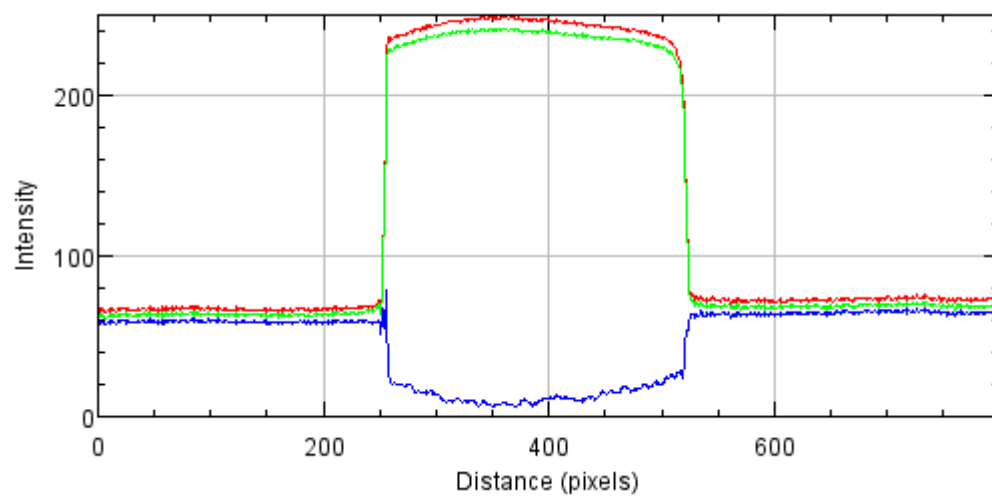
Espectros RGB para cada cor.

AMARELO IRRADIADOR 1

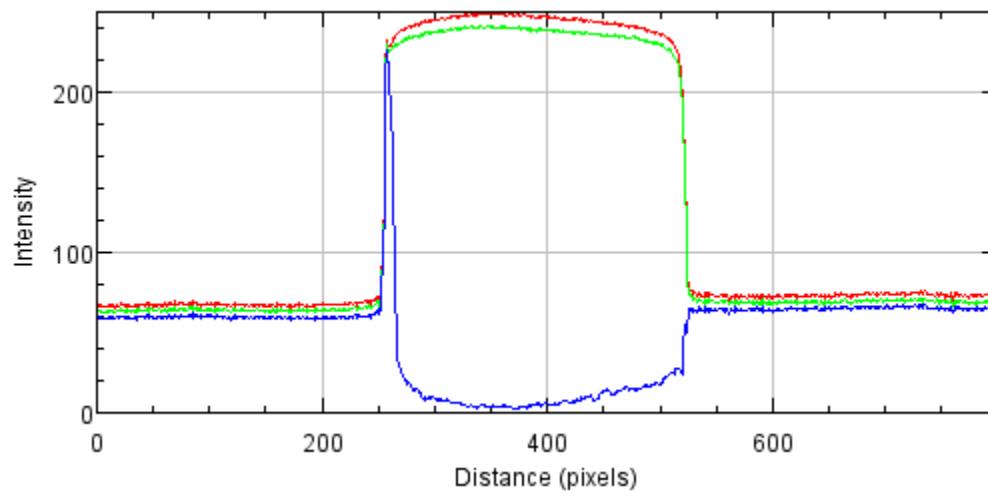
0,0 KGy



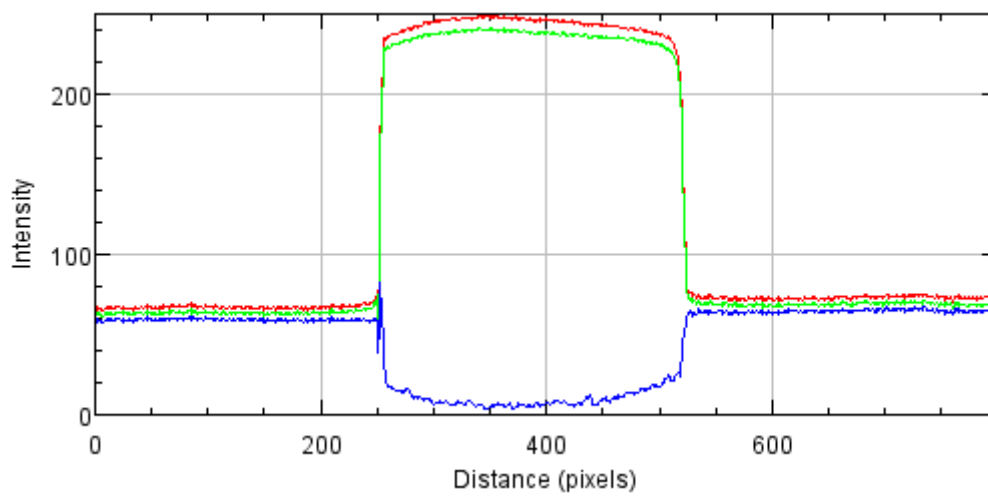
0,5 KGy



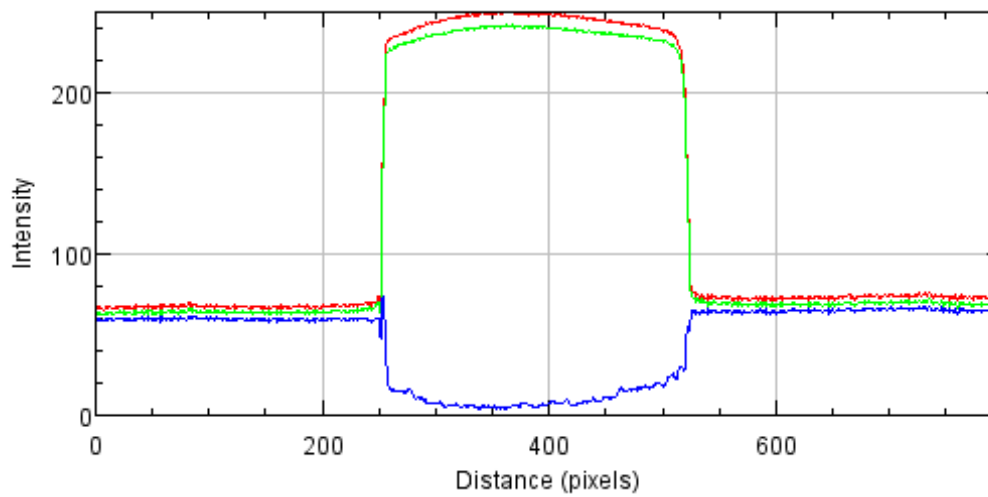
2,0 KGy



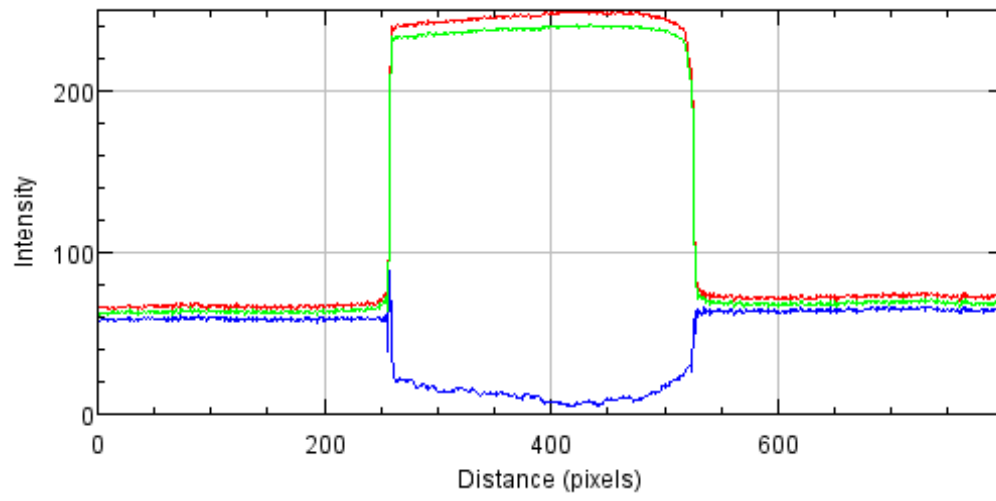
5,0 KGy



10,0 KGy

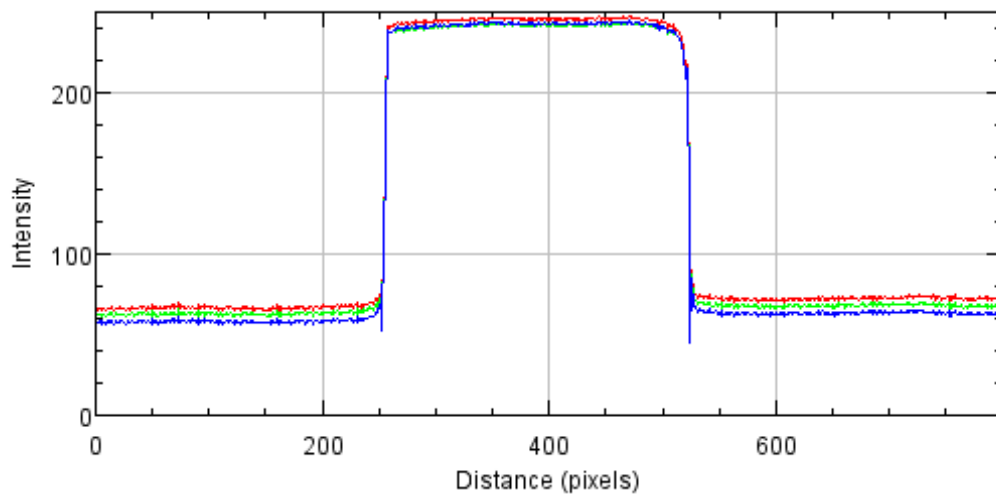


15,0 KGy

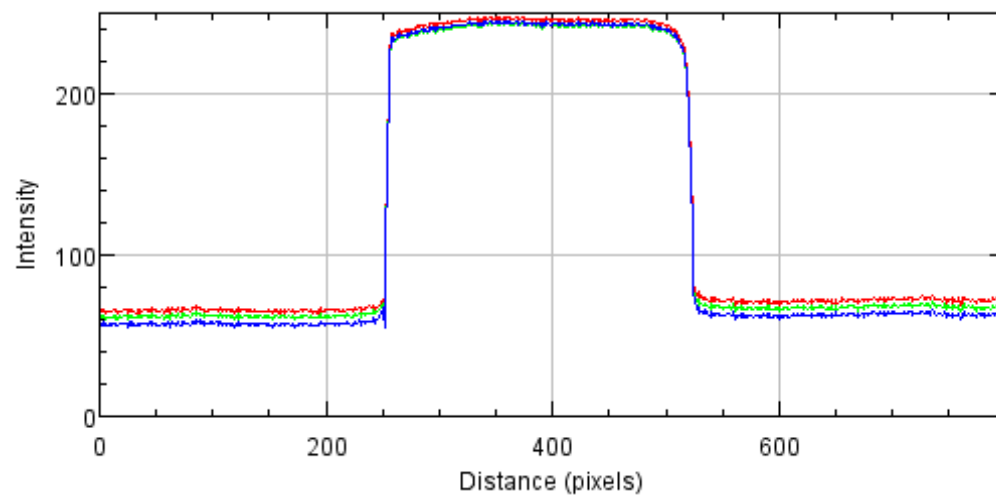


BRANCO IRRADIADOR 1

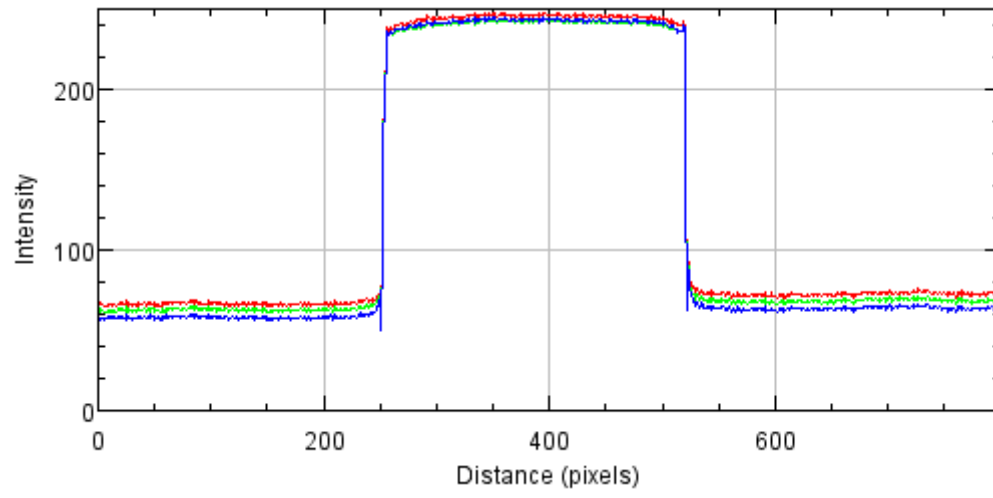
0,0 KGy



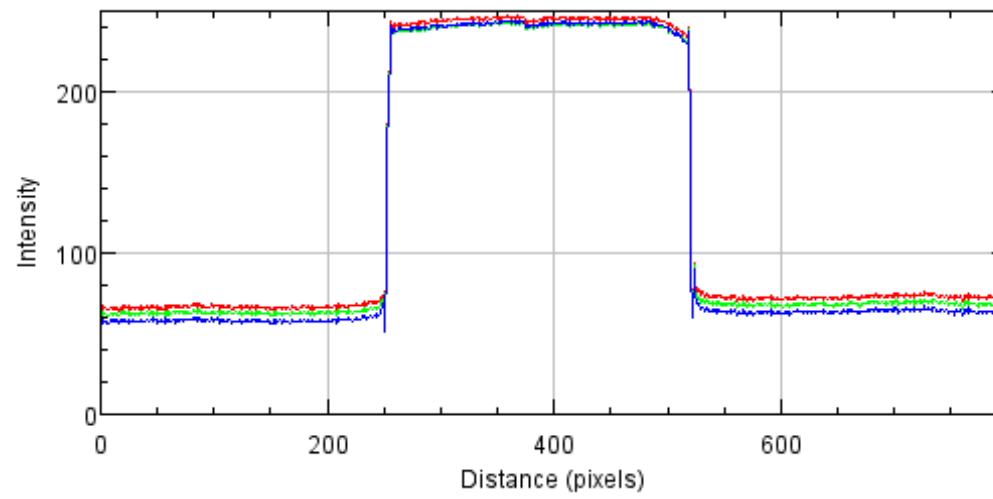
0,5 KGy



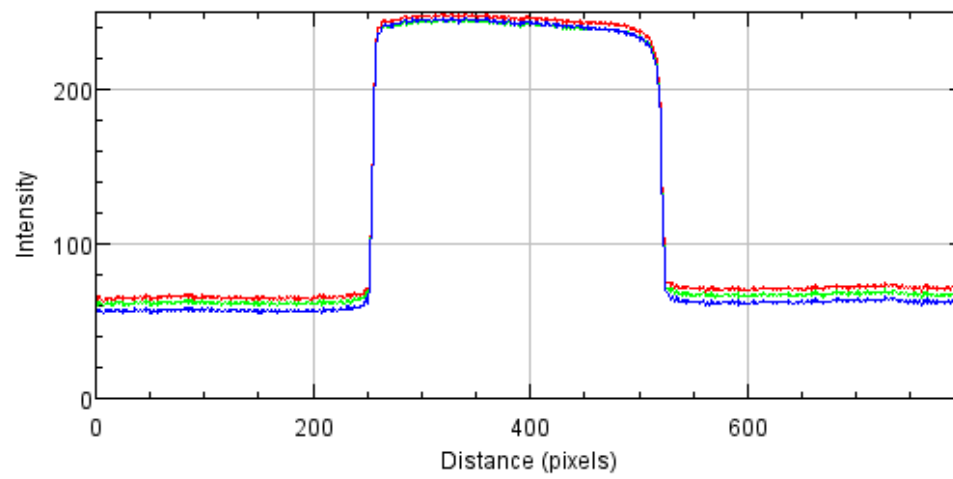
2,0 KGy



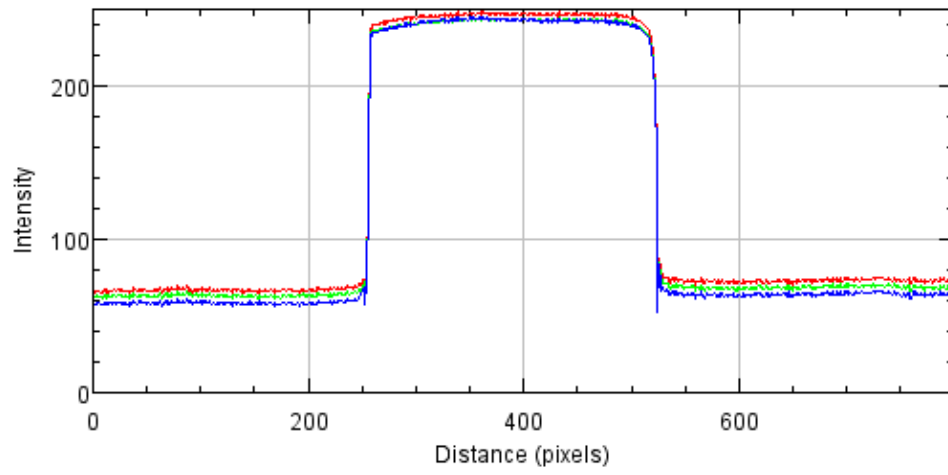
5,0 KGy



10,0 KGy

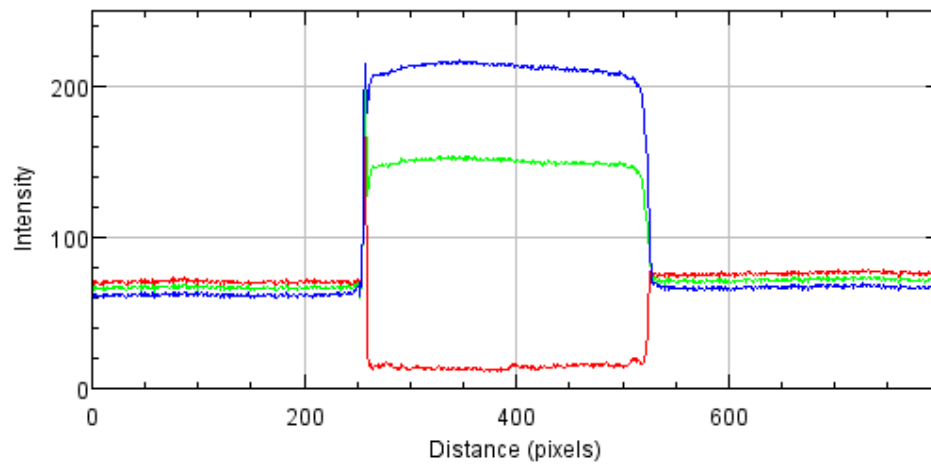


15,0 KGy

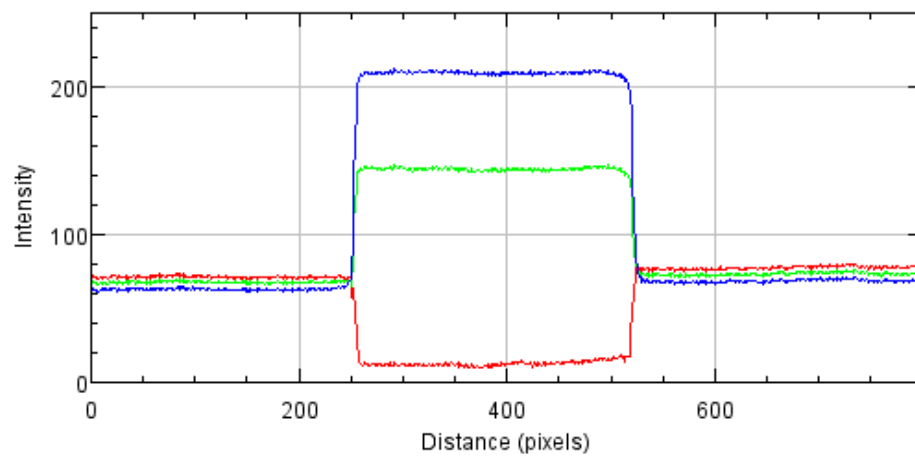


CIANO IRRADIADOR 1

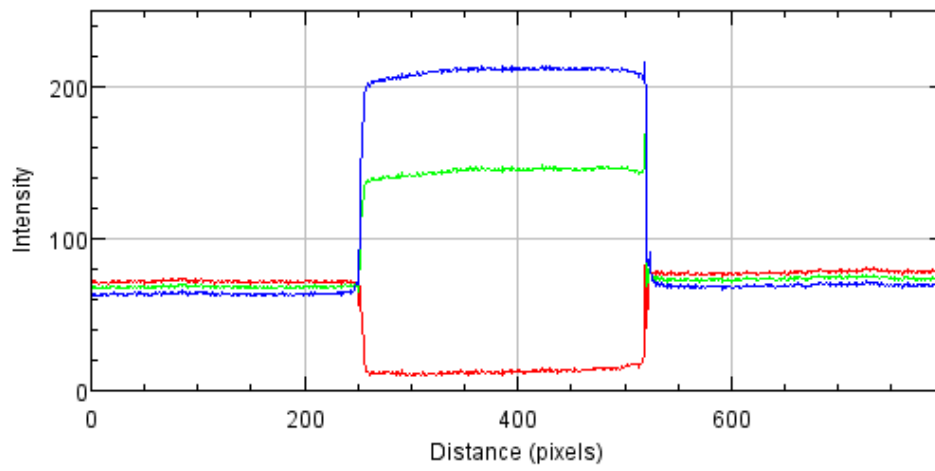
0,0 KGy



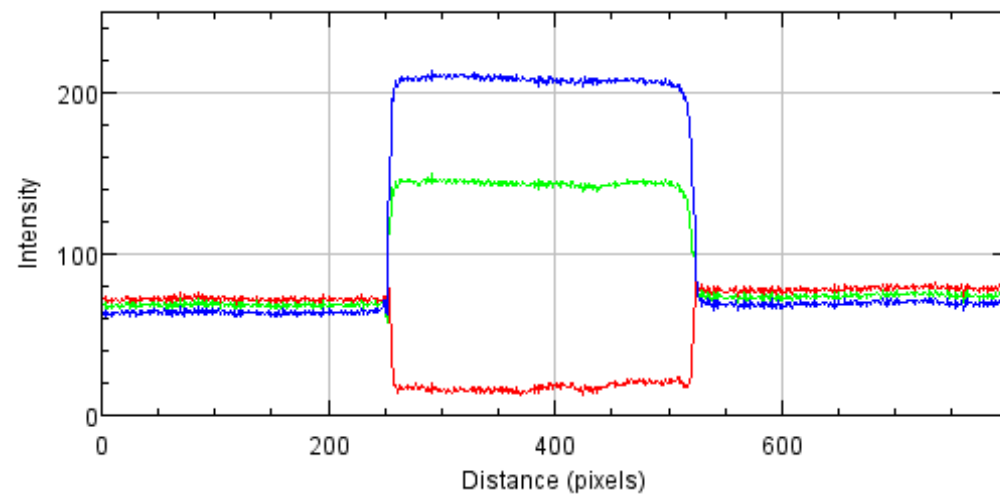
0,5 KGy



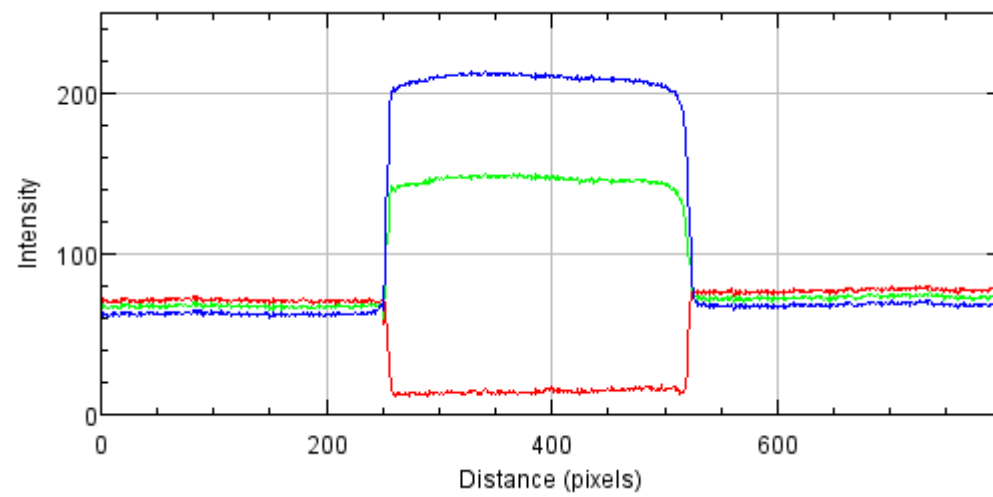
2,0 KGy



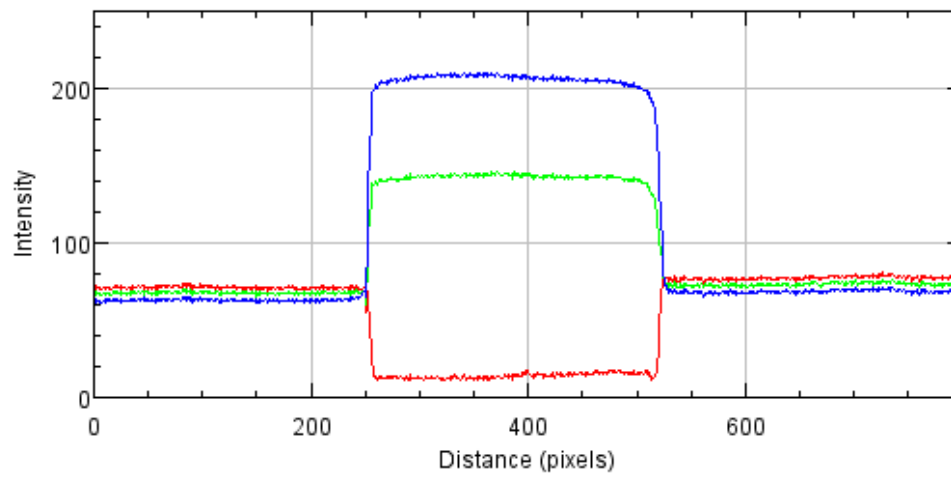
5,0 KGy



10,0 KGy

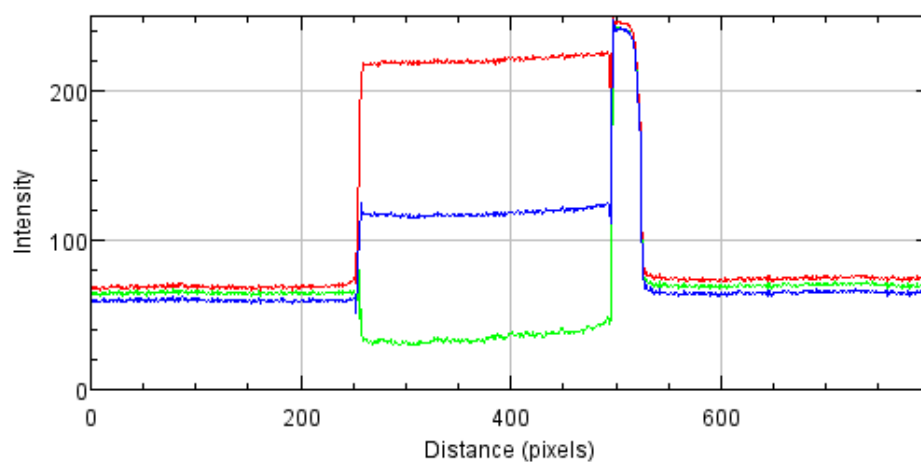


15,0 KGy

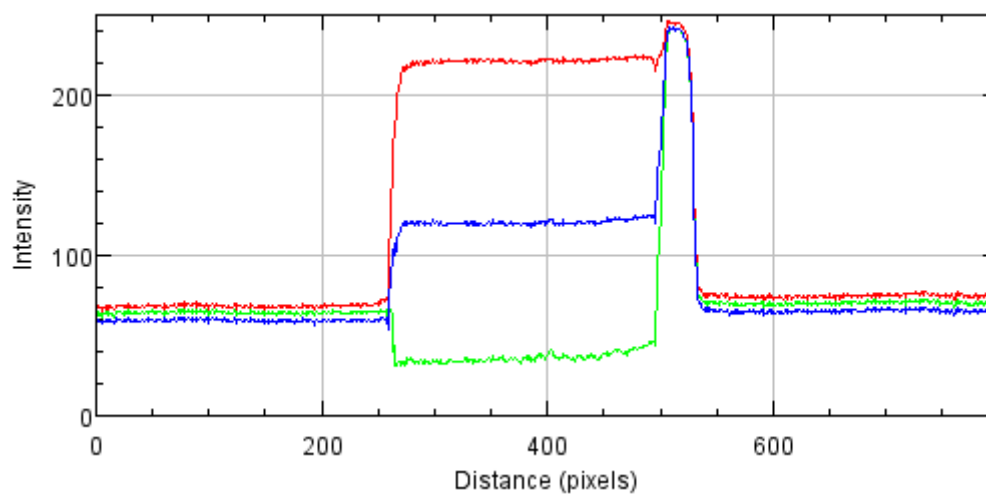


MAGENTA IRRADIADOR 1

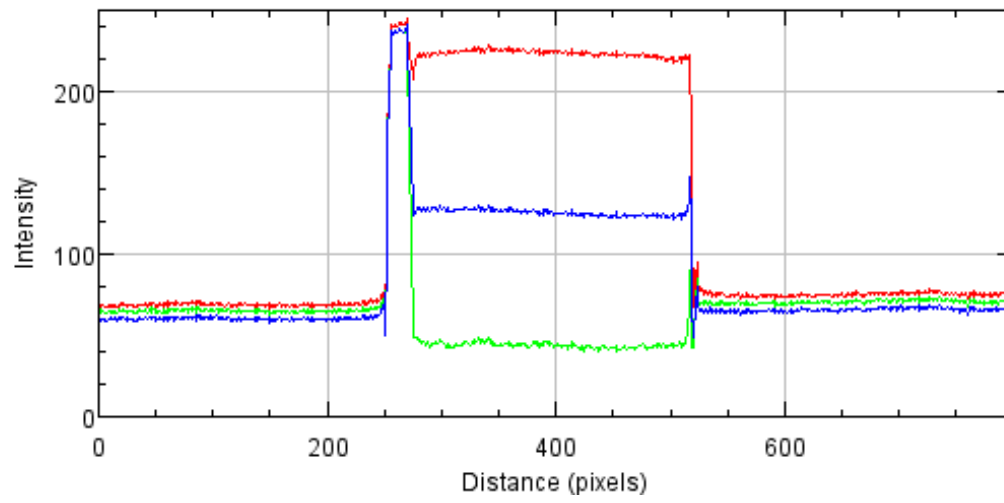
0,0 KGy



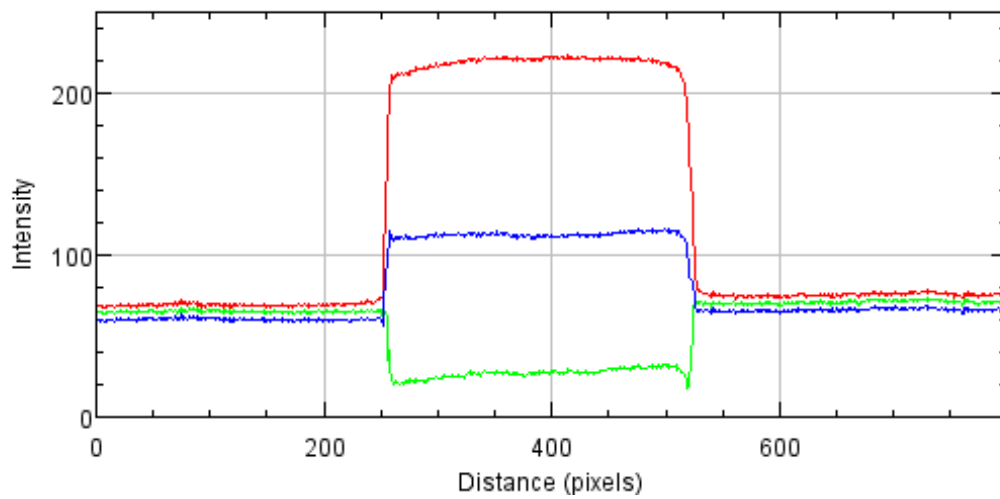
0,5 KGy



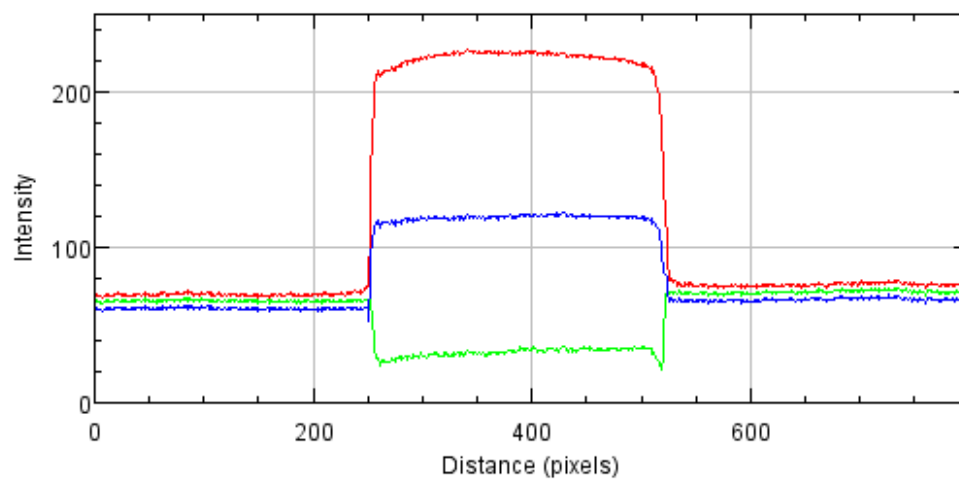
2,0 KGy



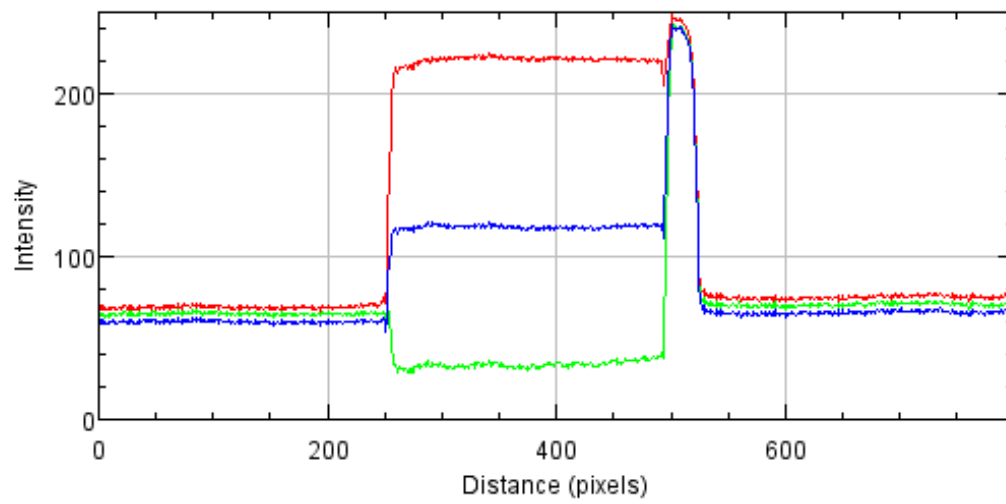
5,0 KGy



10,0 KGy

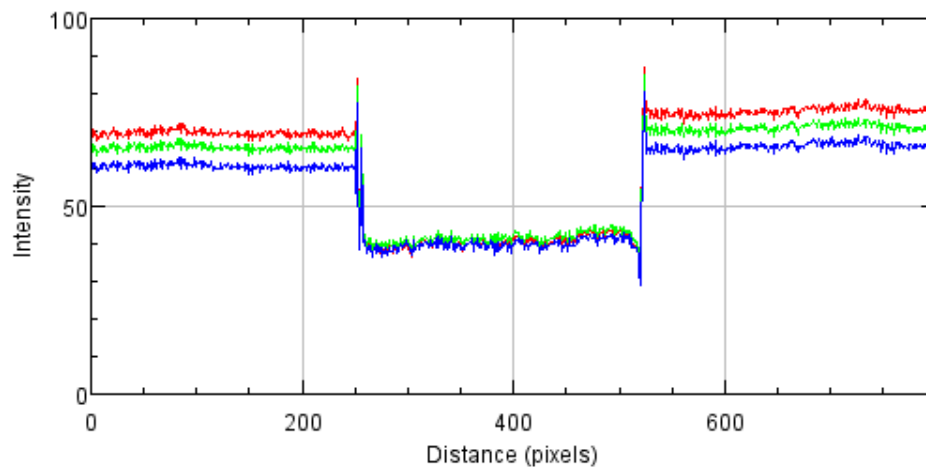


15,0 KGy

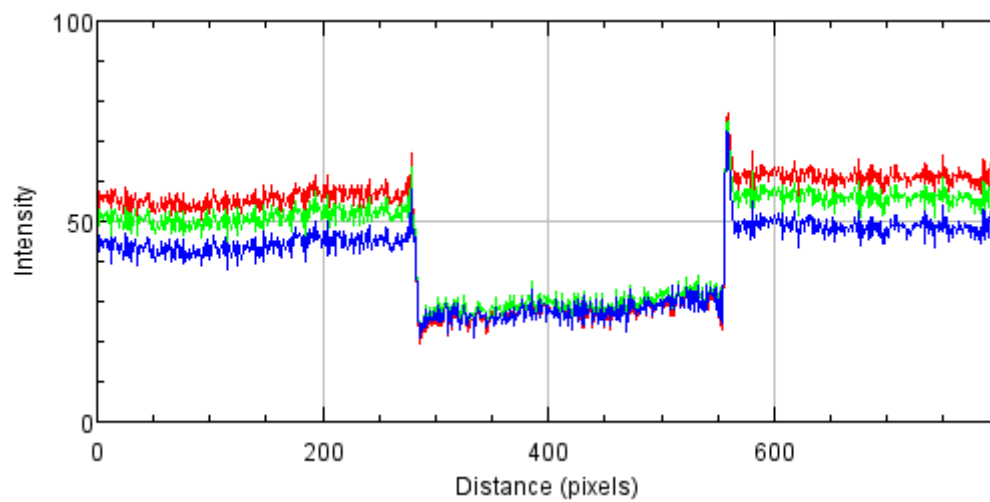


PRETO IRRADIADOR 1

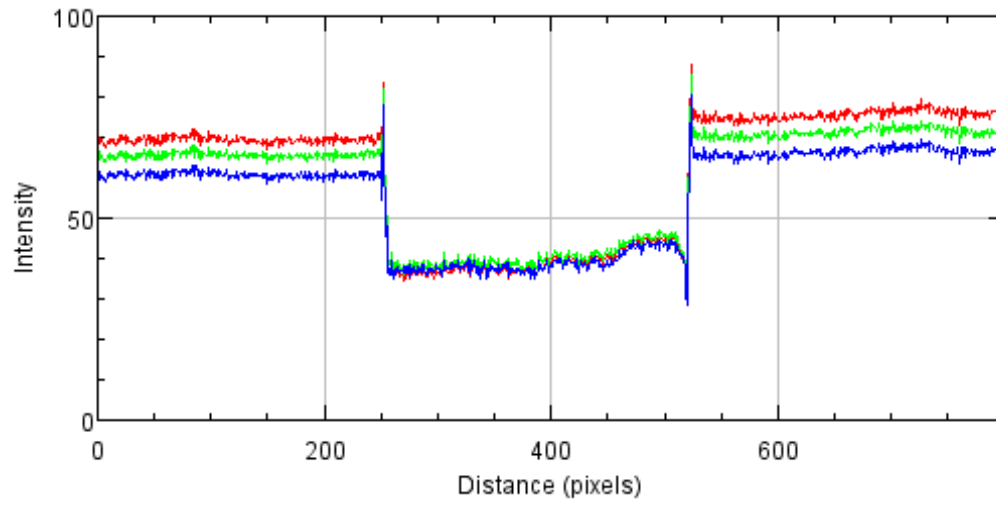
0,0 KGy



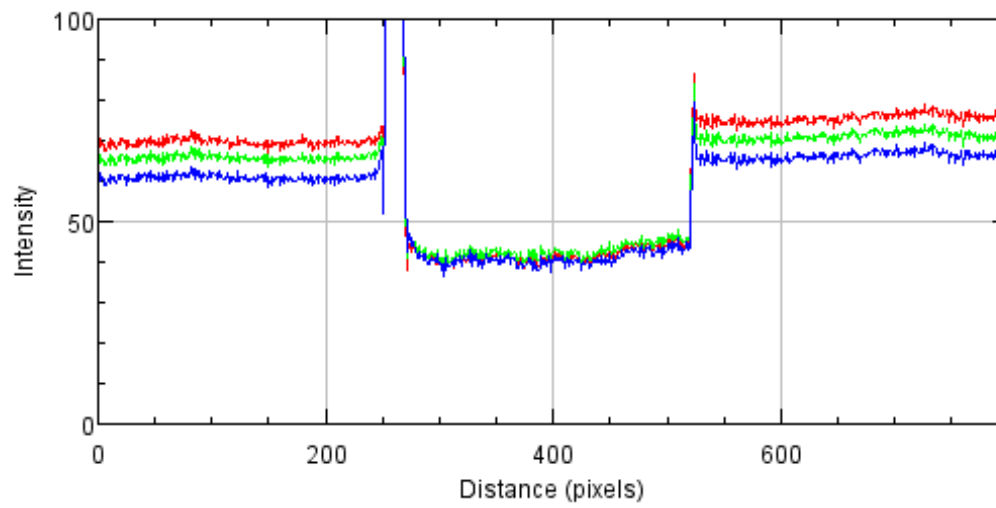
0,5 KGy



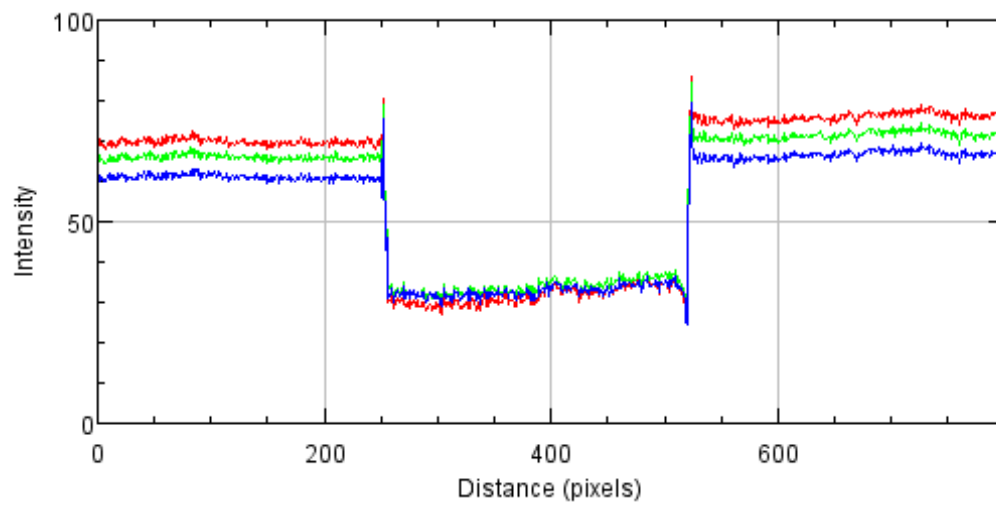
2,0 KGy



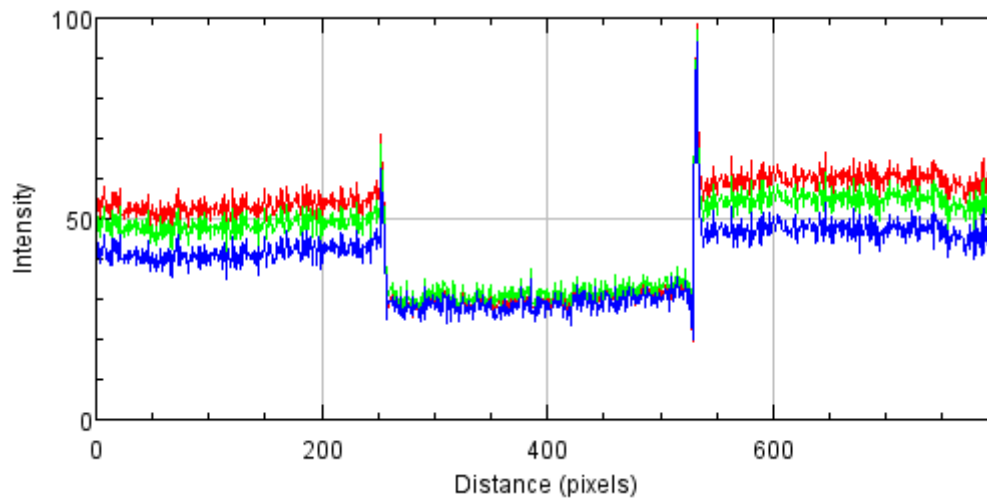
05,0 KGy



10,0 KGy

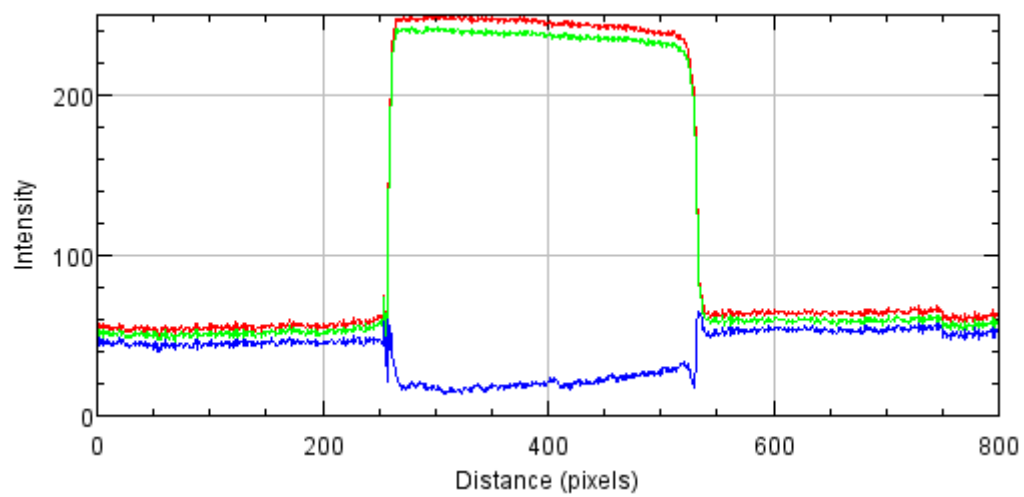


15,0 KGy

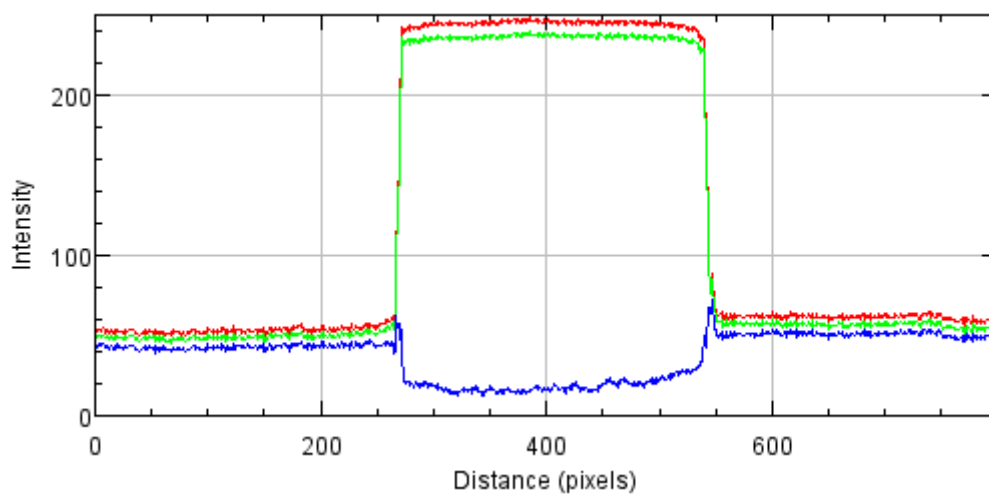


AMARELO IRRADIADOR 1 + ETS

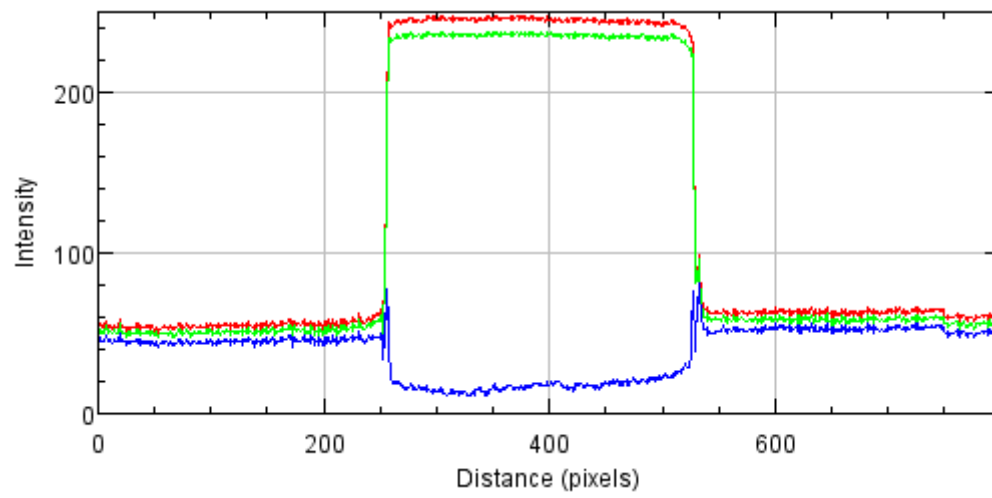
0,0 KGy +ETS



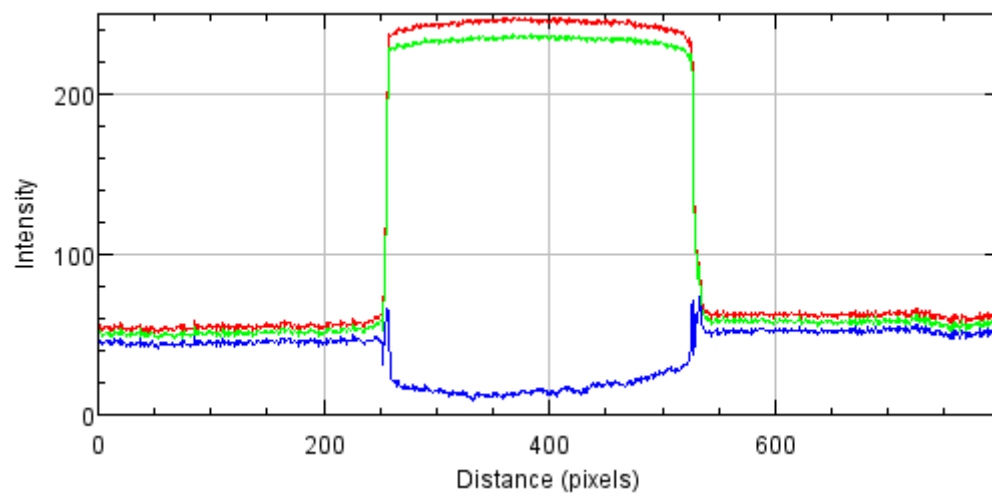
0,5 KGy +ETS



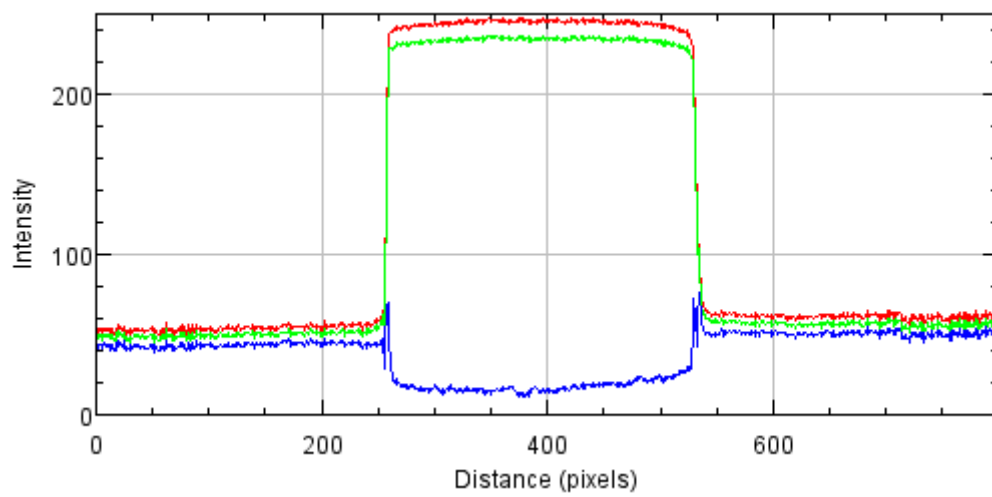
2,0 KGy +ETS



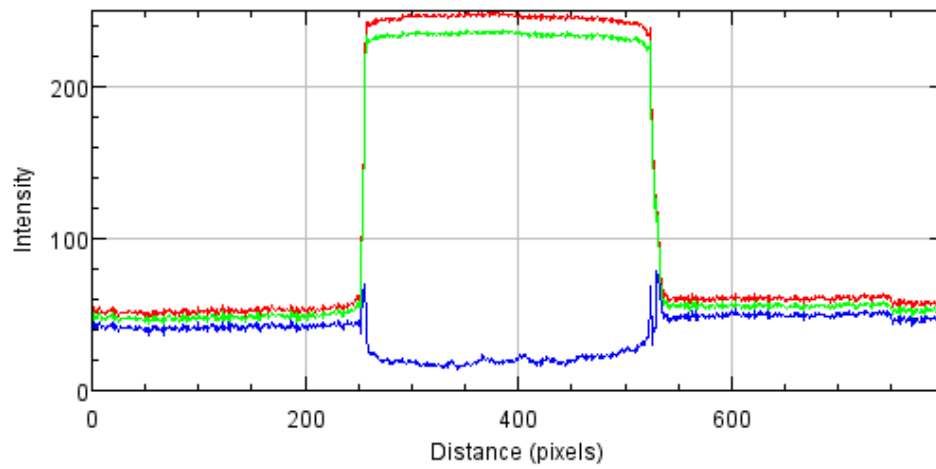
5,0 KGy +ETS



10,0 KGy +ETS

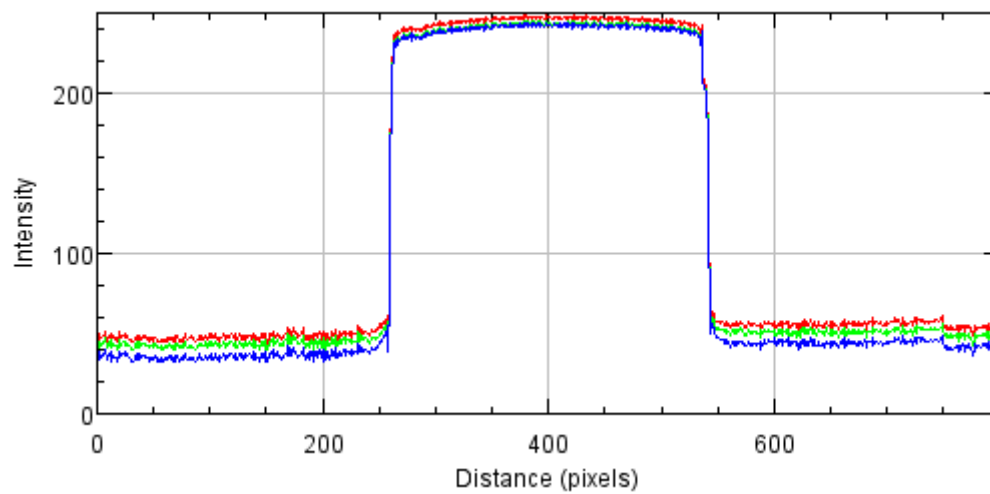


15,0 KGy +ETS

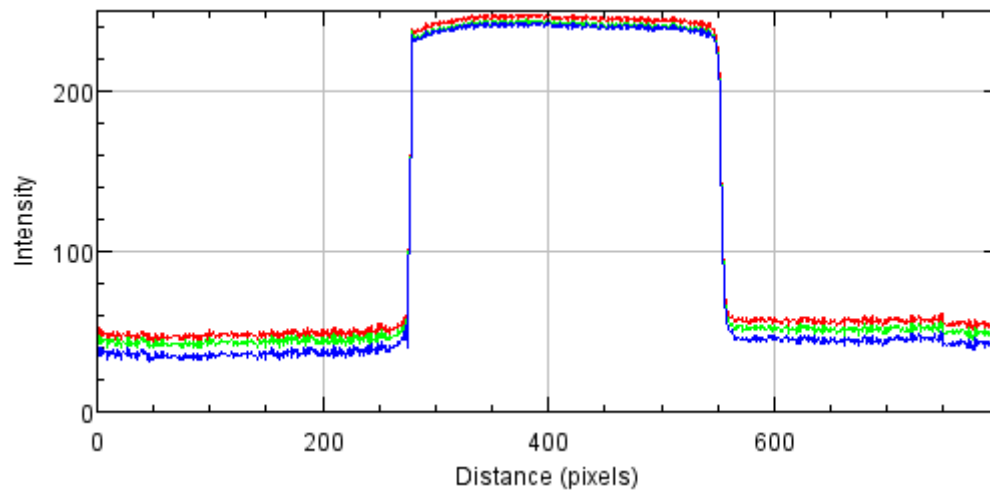


BRANCO IRRADIADOR 1 + ETS

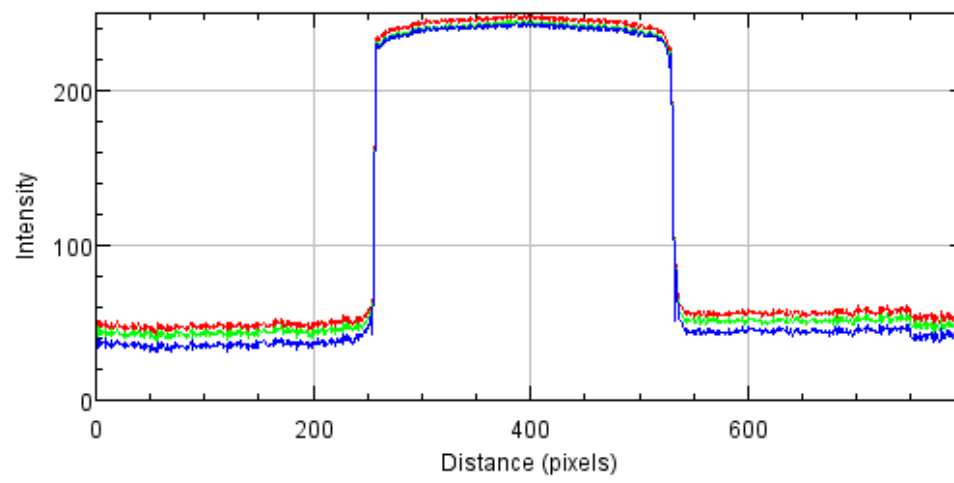
0,0 KGy +ETS



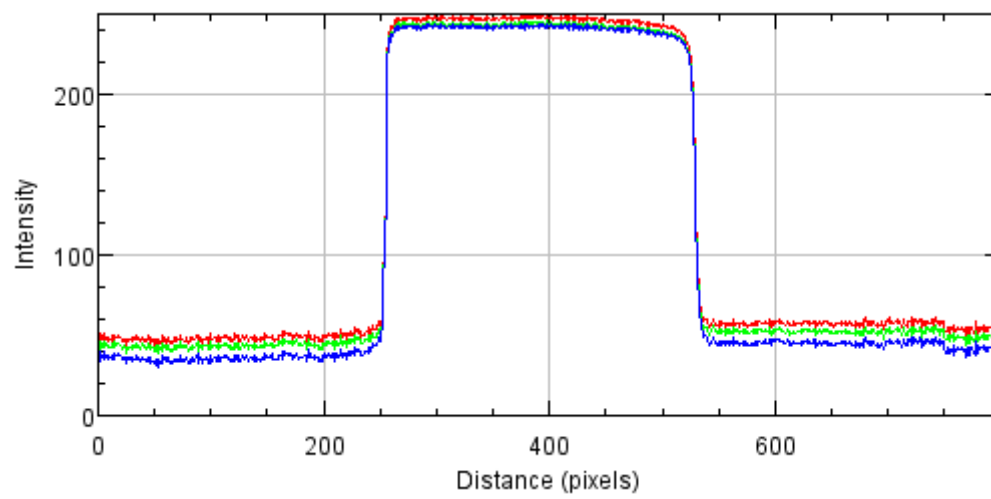
0,5 KGy +ETS



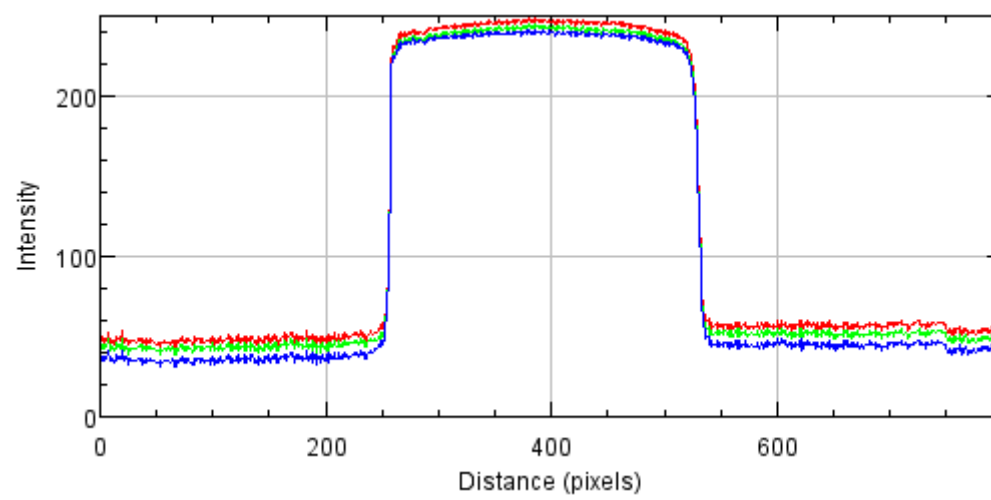
2,0 KGy +ETS



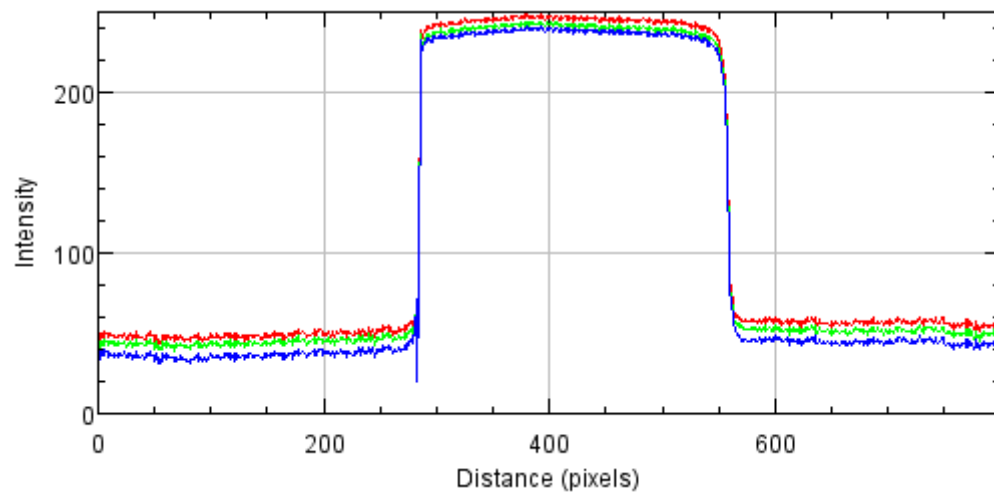
5,0 KGy +ETS



10,0 KGy +ETS

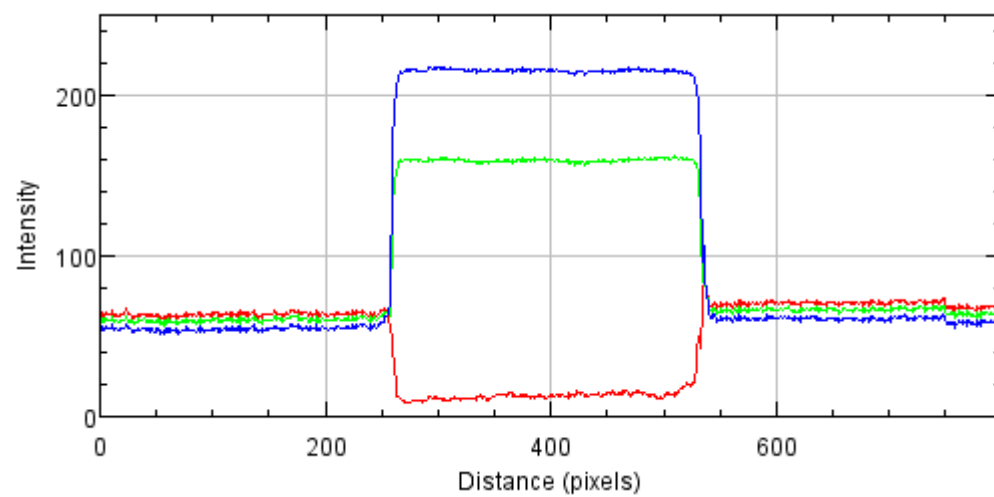


15,0 KGy +ETS

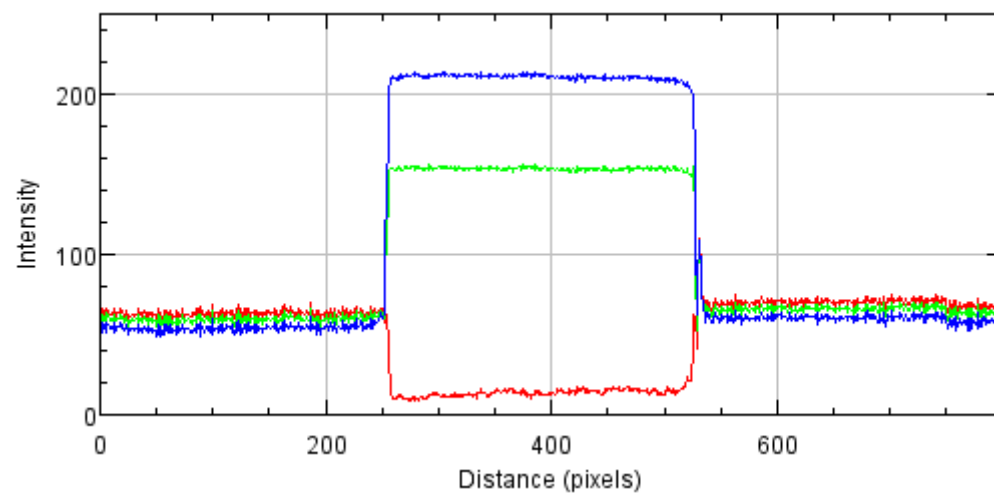


CIANO IRRADIADOR 1 + ETS

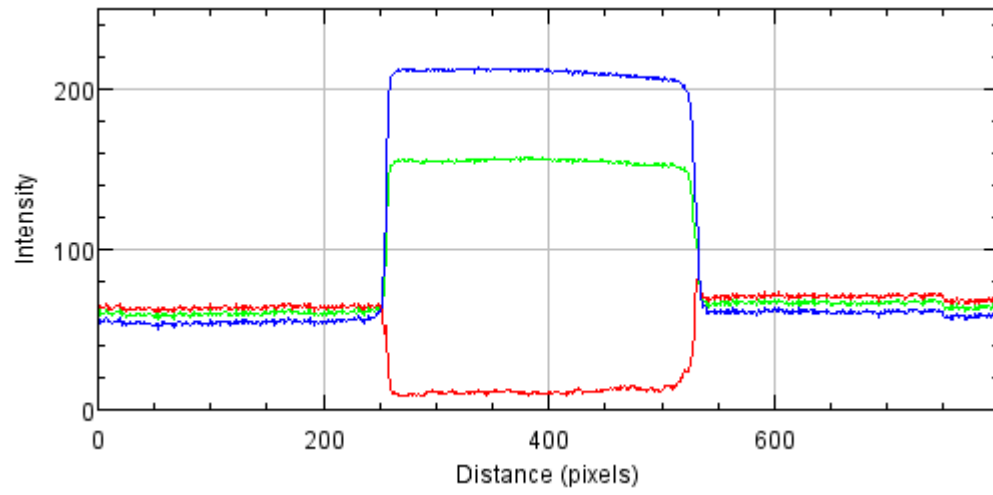
0,0 KGy +ETS



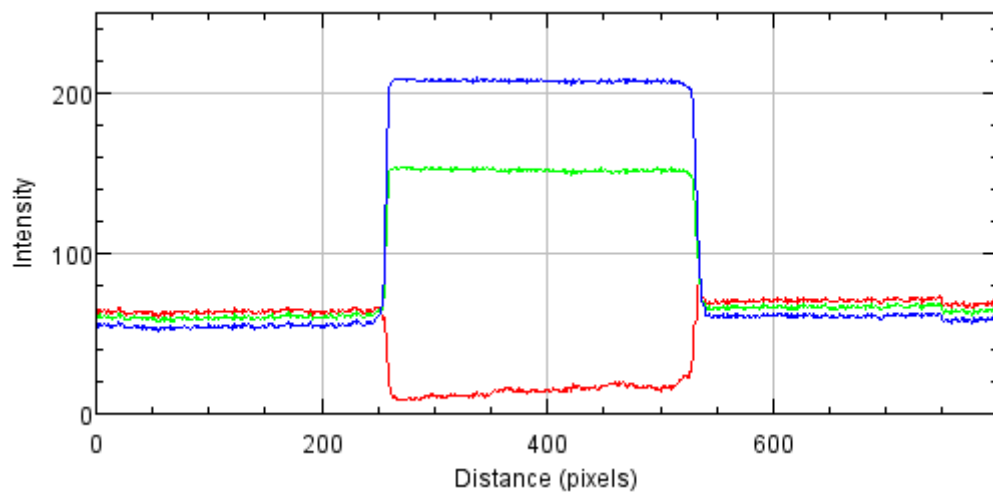
0,5 KGy +ETS



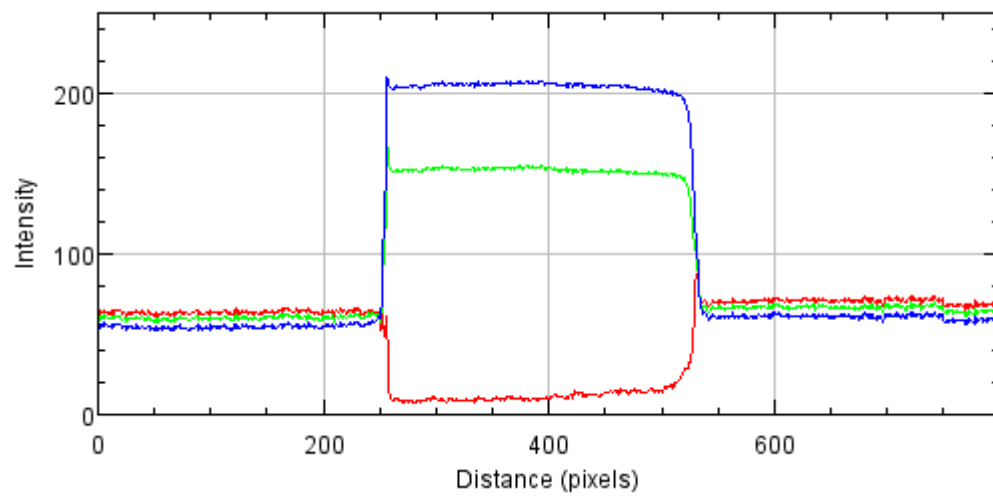
2,0 KGy +ETS



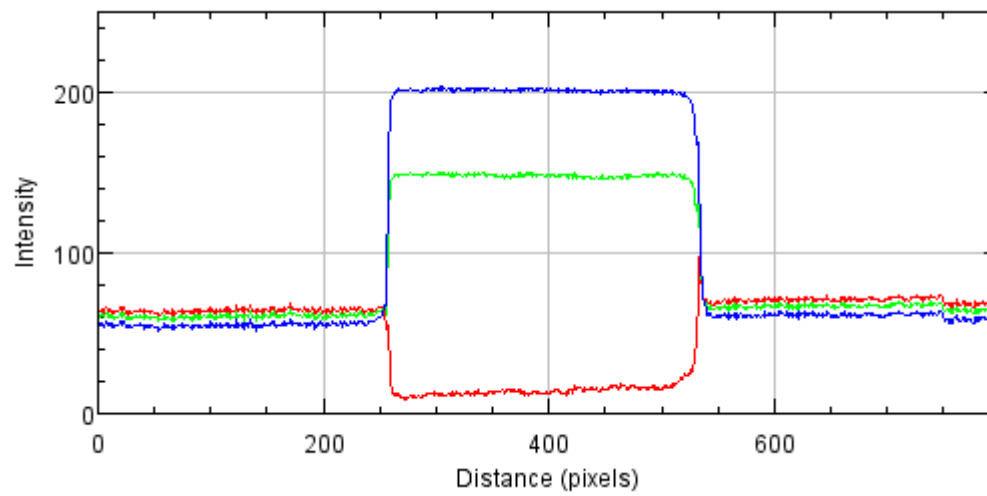
5,0 KGy +ETS



10,0 KGy +ETS

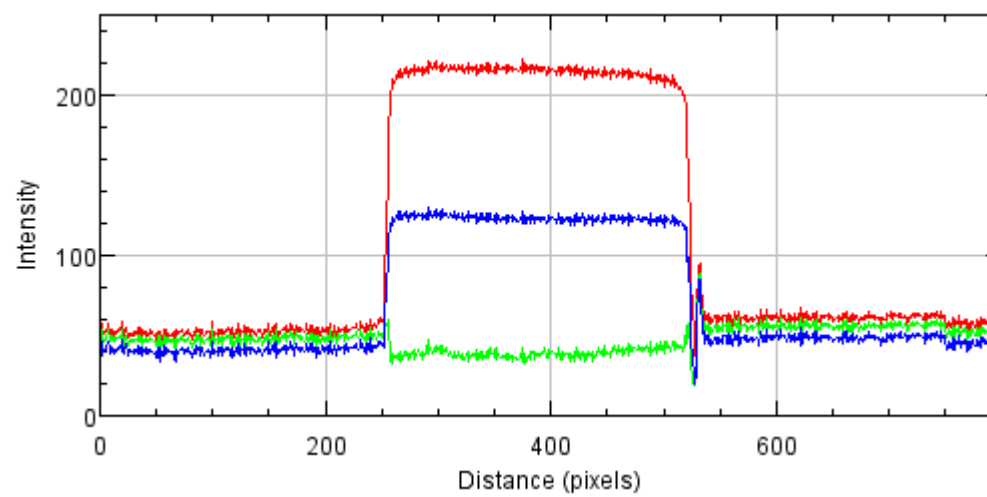


15,0 KGy +ETS

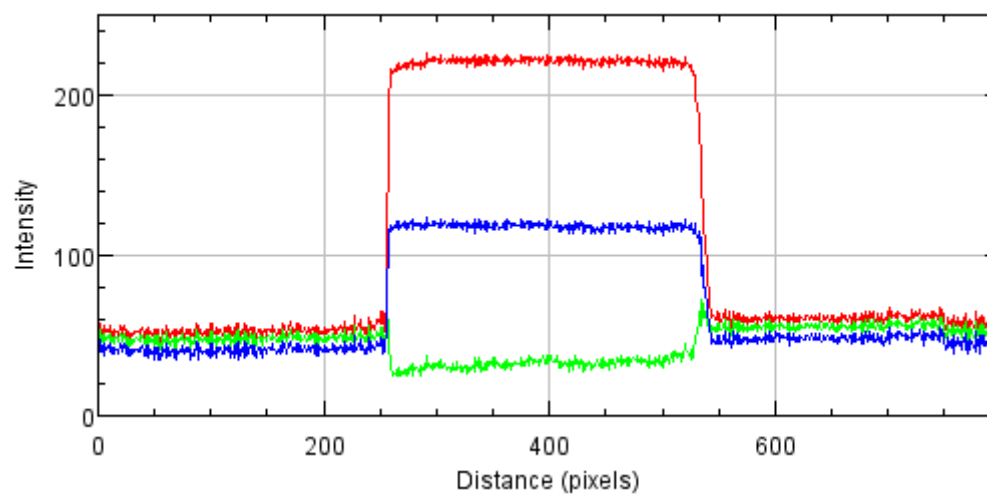


MAGENTA IRRADIADOR 1 + ETS

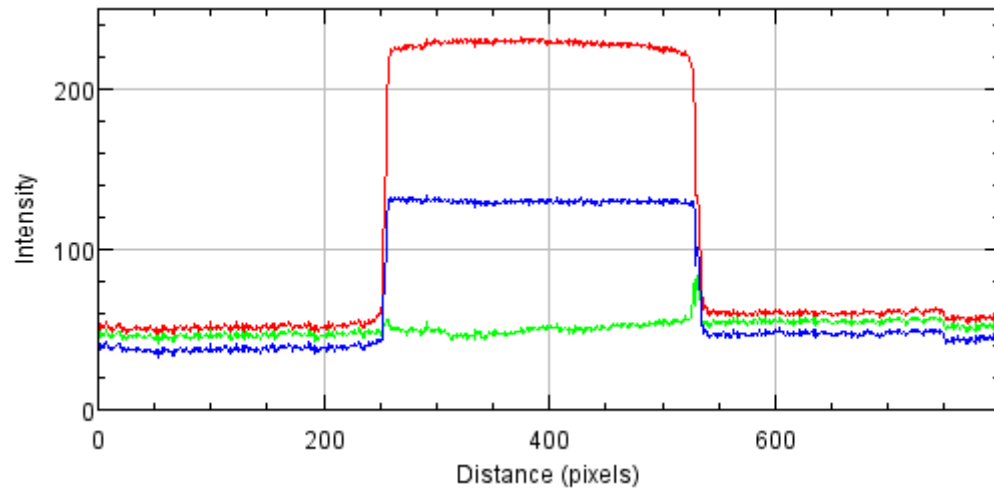
0,0 KGy +ETS



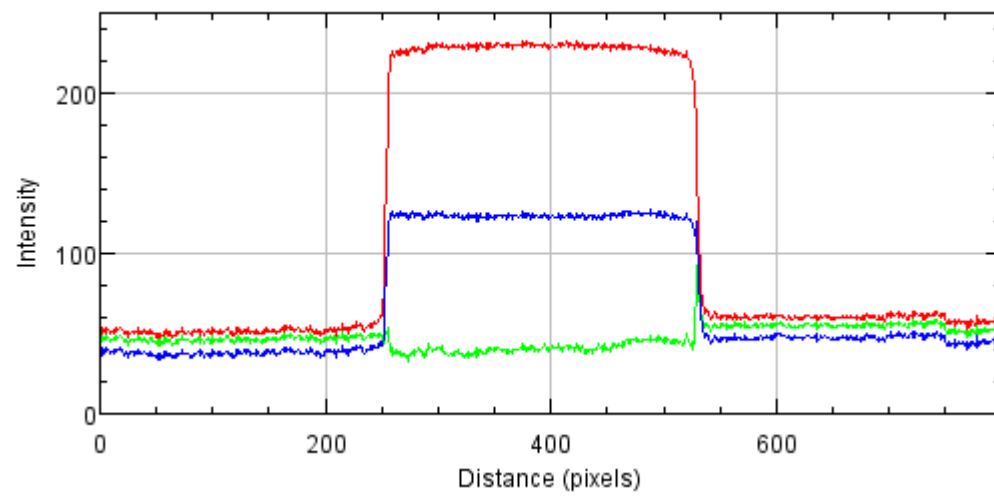
0,5 KGy +ETS



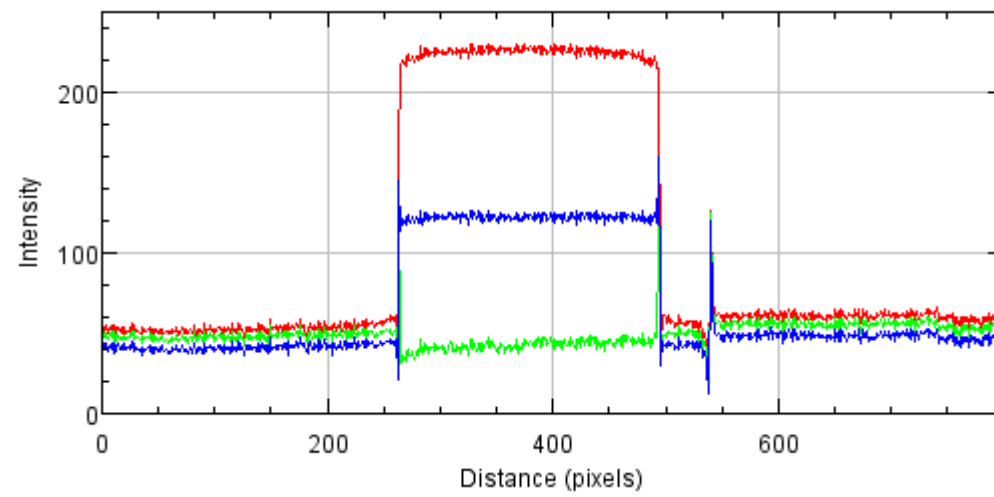
2,0 KGy +ETS



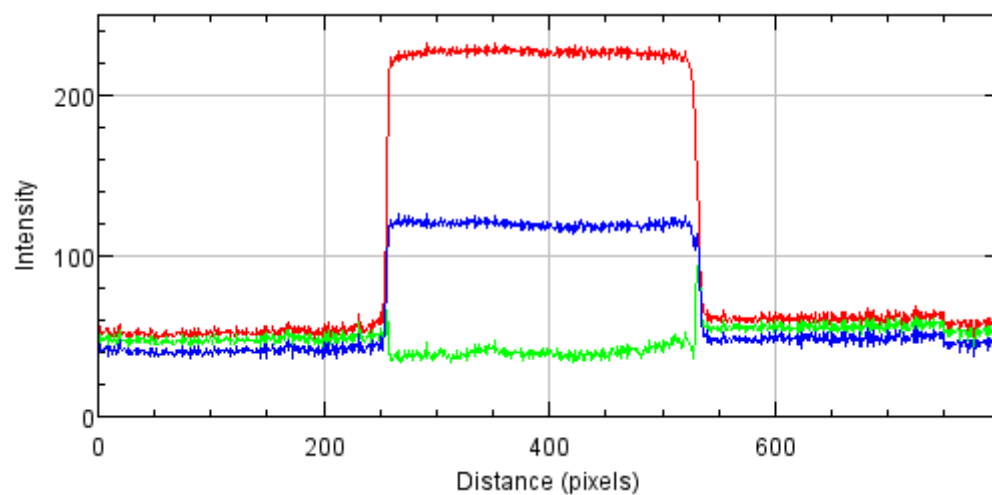
5,0 KGy +ETS



10,0 KGy +ETS

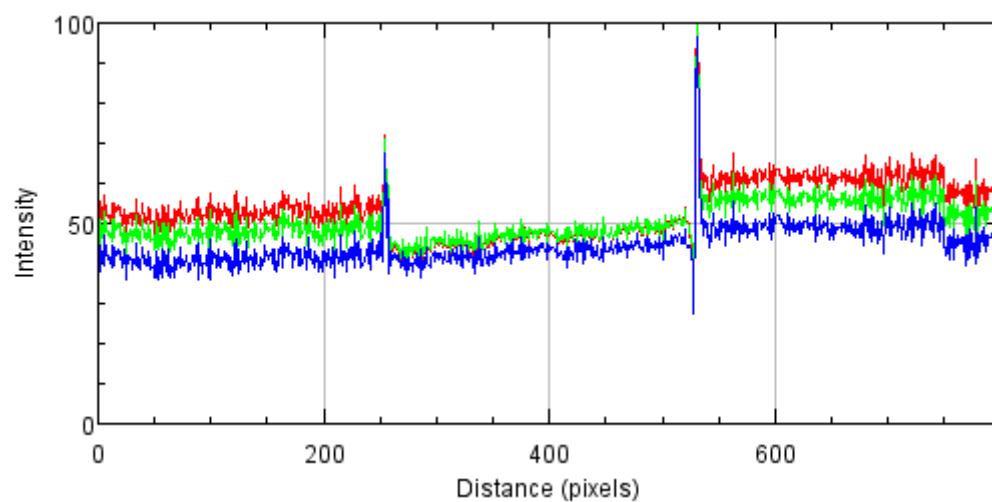


15,0 KGy +ETS

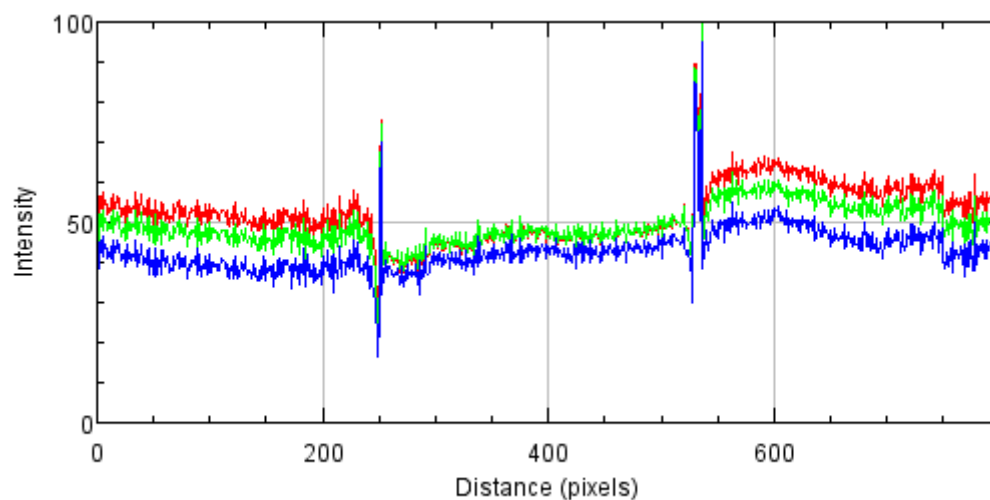


PRETO IRRADIADOR 1 + ETS

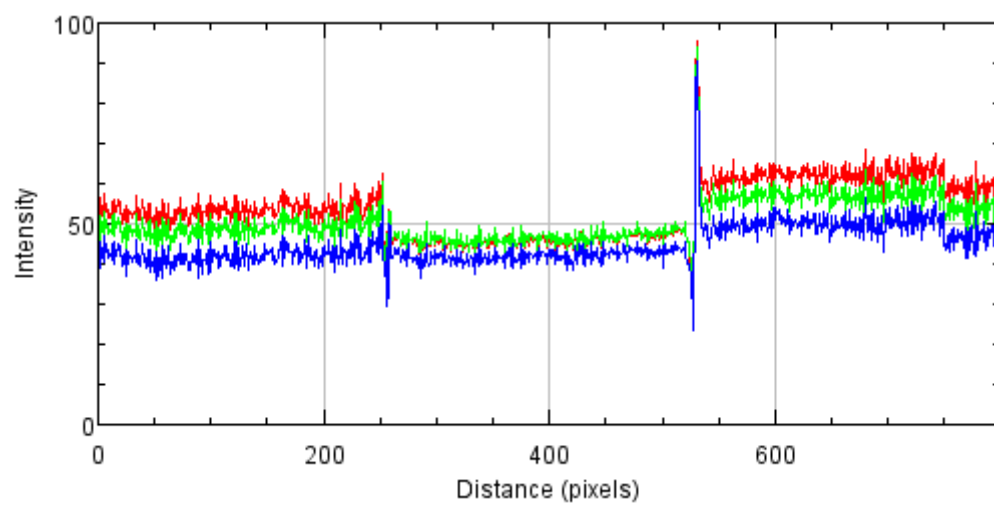
0,0 KGy +ETS



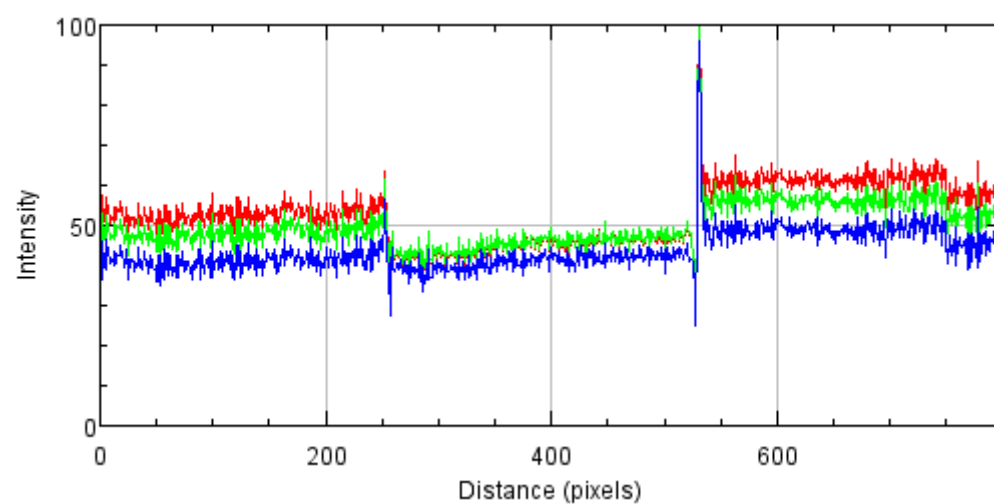
0,5 KGy +ETS



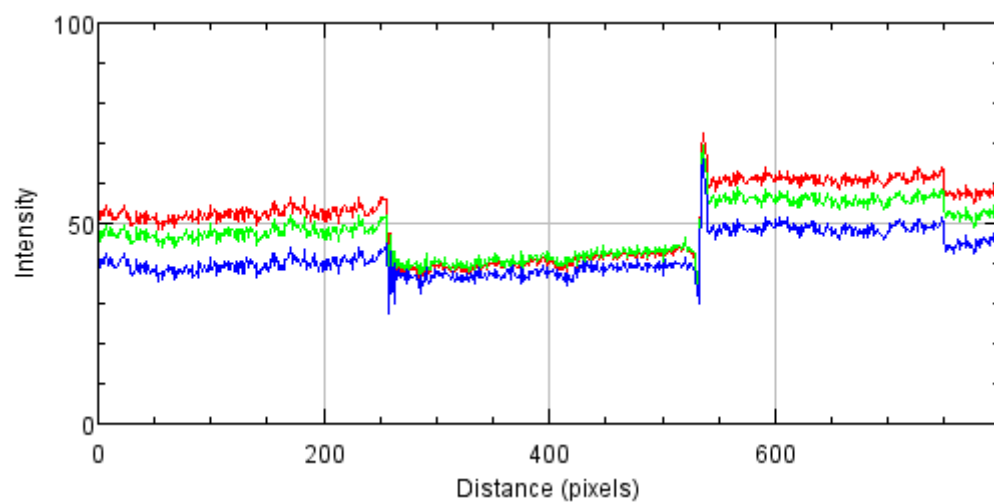
2,0 KGy +ETS



5,0 KGy +ETS



10,0 KGy +ETS



15,0 K Gy +ETS

